This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

GODFREY LOWELL CABOT SCIENCE LIBRARY
of the Harvard College Library

This book is
FRAGILE
and circulates only with permission.
Please handle with care
and consult a staff member
before photocopying.

Thanks for your help in preserving
Harvard's library collections.

Eng 458.7

EXPOSITION UNIVERSELLE À PHILADELPHIE

EN 1876.

FRANCE.

NOTICES

SUR

LES MODÈLES, CARTES ET DESSINS

RELATIFS AUX TRAVAUX

DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES

RÉUNIS

PAR LES SOINS DU MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS.

PARIS.

IMPRIMERIE NATIONALE.

M DCCC LXXVI.

NOTICES

SUR

LES MODÈLES, CARTES ET DESSINS

RELATIFS AUX TRAVAUX

DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES.

0

EXPOSITION UNIVERSELLE À PHILADELPHIE

EN 1876.

FRANCE.

NOTICES

SUR

LES MODÈLES, CARTES ET DESSINS

RELATIFS AUX TRAVAUX

DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES

RÉUNIS

PAR LES SOINS DU MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS.

PARIS.

IMPRIMERIE NATIONALE.

M DCCC LXXVI.

Eng 458.76.3

HARVARD COLLEGE LIBRARY
FROM
PROFESSOR
OCT. 5, 1926

B

AVERTISSEMENT.

La participation importante des États-Unis d'Amérique à l'Exposition universelle de Paris en 1867 était un motif pour la France de répondre avec un égal empressement à l'invitation qui lui était adressée de concourir en 1876 à l'Exposition universelle de Philadelphie.

Le Ministère des travaux publics l'a ainsi compris; et, de même que cela s'était fait lors des expositions de Paris, de Londres et de Vienne, une commission a été chargée de réunir un choix de modèles, de cartes et de dessins propres à donner quelque idée des travaux des ponts et chaussées et des mines, pendant ces dernières années.

Un appel a été adressé en même temps aux grandes compagnies de chemins de fer, qui y ont répondu avec leur bon vouloir accoutumé.

Il reste entendu d'ailleurs que l'intervention administrative laisse à chacun la responsabilité aussi bien que le mérite de ses œuvres.

Pour faciliter l'intelligence des ouvrages exposés, il a paru nécessaire d'adjoindre aux modèles, cartes et dessins des notices donnant, sur chaque objet, des détails précis, qui en feront mieux comprendre l'utilité et l'importance. Tel est le but de ce volume qui se partage en trois parties :

PREMIÈRE PARTIE. — PONTS ET CHAUSSÉES.

Documents généraux.
1re Section. — Routes.
2e Section. — Chemins de fer.
3e Section. — Navigation intérieure.
4e Section. — Travaux maritimes.
5e Section. — Phares et balises.
6e Section. — Élévation et distribution des eaux.
7e Section. — Objets divers.

DEUXIÈME PARTIE. — MINES.

Section unique. — Cartes et objets divers.

PARTIE ANNEXE. — INSTALLATION.

Coopération industrielle à l'installation des objets exposés par le Ministère des travaux publics.

Enfin, et pour mettre ces indications à la portée de tous, il a été décidé qu'une traduction, faite avec le plus grand soin, reproduirait littéralement en anglais le texte du présent catalogue.

Ce travail a été confié par le Ministère des travaux publics à M. le traducteur David Coales, et constitue un volume à part, spécialement destiné aux visiteurs américains peu familiarisés avec la langue française.

Aucun emplacement n'ayant été mis à sa disposition dans le Palais de Philadelphie, le Ministère des travaux publics a été conduit à faire établir à ses frais un bâtiment spécial.

Le projet de cette construction, sa décoration artistique, le groupement des modèles, des cartes et des dessins, sont l'œuvre propre de M. de Dartein, ingénieur des ponts et chaussées, professeur d'architecture à l'École polytechnique et à l'École des ponts et chaussées.

M. Lavoinne, ingénieur des ponts et chaussées, et M. le conducteur d'Hervilly ont été détachés aux États-Unis pour installer l'exposition des travaux publics, et avec mission de fournir aux ingénieurs étrangers toutes les explications qu'ils pourraient désirer.

PREMIÈRE PARTIE.

PONTS ET CHAUSSÉES.

I

DOCUMENTS GÉNÉRAUX

SUR

LES VOIES DE COMMUNICATION DE LA FRANCE.

Une carte à l'échelle de $\frac{1}{320000}$ (1 mètre pour 320 kilom.).
Un volume de texte in-8°.

Les voies de communication de la France se divisent en *voies terrestres*, *voies fluviales* et *voies maritimes*.

Les voies terrestres comprennent les *routes* et les *chemins de fer*.

Les routes se subdivisent elles-mêmes en *routes nationales* et en *routes départementales*.

Les voies fluviales embrassent les *rivières* et les *canaux*.

Ces différents modes de communication se distinguent sur la carte de la manière suivante :

Les routes nationales sont représentées par *un trait brun foncé;*

Les routes départementales sont figurées par *un trait de même couleur,* mais d'*une moindre largeur;*

Les chemins de fer sont indiqués par *un trait blanc;*

Les rivières navigables et les canaux sont caractérisés par *un trait bleu.*

Une représentation conventionnelle des montagnes fait ressortir les faîtes de partage des eaux, et montre les grands fleuves occupant les thalwegs des vallées intermédiaires.

Les principales lignes de navigation maritime sont indiquées par des *traits d'or*.

Des *traits rouges* limitent les *fonds de 100, 200, 500* et *1,000 mètres*.

L'éclairage des côtes est marqué par des *cercles blancs* donnant la portée lumineuse des phares.

La carte comprend en outre les principales villes, qui se distinguent de la manière suivante :

Les chefs-lieux de département sont indiqués par des *boutons dorés creusés en écuelle;*

Les chefs-lieux d'arrondissement sont représentés par des *points noirs;*

Les ports de mer sont figurés par des boutons *dorés et plats* de deux dimensions : les boutons du plus grand diamètre signalent particulièrement les *grands ports*.

Le texte relatif aux voies de communication se divise en routes et ponts, chemins de fer, rivières et canaux, ports de mer, phares et balises.

Chacune de ces divisions fait l'objet d'un chapitre spécial dans lequel on résume, d'après des documents officiels, les principaux faits historiques, techniques, administratifs et commerciaux qui s'y rattachent.

La carte a été dressée et peinte par M. l'ingénieur DE DARTEIN, professeur à l'École des ponts et chaussées, avec le concours de MM. BOULARD et CIESIELSKI.

Le texte a été rédigé par M. Félix LUCAS, ingénieur des ponts et chaussées, attaché au ministère des travaux publics.

PREMIÈRE SECTION.

ROUTES.

II

VIADUC DE DINAN,

SUR LA RANCE.

(ROUTE NATIONALE N° 176.)

Modèle de trois arches à l'échelle de $0^m,04$ (un vingt-cinquième).

Cet ouvrage, construit pour la route nationale n° 176, a $315^m,50$ de longueur totale; il est à un seul étage, composé de dix arches en plein cintre ayant 16 mètres d'ouverture, 1 mètre d'épaisseur à la clef, $6^m,75$ de largeur entre les têtes.

La voie est à $41^m,30$ au-dessus du niveau du canal d'Ille-et-Rance, et le sommet du parapet de la plus haute pile à $49^m,15$ au-dessus du rocher qui a reçu les fondations.

La partie vue des piles (non compris les fondations, qui ont environ 10 mètres de hauteur) a $27^m,60$ de hauteur, dont $7^m,80$ pour le soubassement, $18^m,40$ pour le fût et $1^m,40$ pour le couronnement.

Les piles ont leurs parements verticaux, et une section uniforme de 4 mètres sur $6^m,65$; elles sont flanquées de

contre-forts de 2 mètres de largeur, faisant saillie sur les plans de tête de $0^m,50$ sous la corniche et de $1^m,76$ à la base, ce qui constitue un fruit de $0^m,034$ par mètre.

Les culées ont 4 mètres d'épaisseur, $6^m,65$ de largeur, de 8 à 9 mètres de hauteur; elles sont accompagnées de murs en retour qui ont $38^m,50$ de longueur sur la rive gauche et 81 mètres sur la rive droite, ce qui porte à $315^m,50$ la longueur totale, qui n'est que de 196 mètres entre le nu des culées.

Deux galeries longitudinales règnent sans interruption entre les culées et communiquent entre elles par des ouvertures pratiquées au droit de chaque pile; elles diminuent le volume et la charge des maçonneries et permettent la visite et la réparation des chapes des grandes voûtes.

Les piles ont été fondées sur le rocher, par épuisement, à 10 mètres de profondeur environ. La pression est de $6^{kg},50$ à leur sommet, de $9^{kg},50$ au niveau du soubassement, de $8^{kg},80$ sur le rocher.

La dépense, y compris 81,124 fr. 27 cent. pour les routes aux abords du viaduc, s'est élevée à 1,047,789 fr. 42 cent., soit 103 fr. 65 cent. par mètre carré d'élévation.

La construction a eu lieu de 1846 à 1852; elle a été dirigée par MM. Méquin et de Gayffier, ingénieurs en chef, et M. Fessard, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées.

III

PONT D'ARCOLE,

SUR LA SEINE, À PARIS.

Modèle à l'échelle de $0^m,04$ (un vingt-cinquième).

Ce pont ne comprend qu'une seule travée, en fer, de 80 mètres d'ouverture et $6^m,12$ de flèche : sa largeur entre les garde-corps est de 20 mètres, dont 12 mètres pour la chaussée et 4 mètres pour chaque trottoir. Il est composé de douze fermes distantes de $1^m,33$ pour les dix intermédiaires et de $3^m,50$ pour les deux fermes extrêmes formant les têtes.

Chacune de ces fermes comprend trois parties distinctes : un arc inférieur, un longeron supérieur, un tympan rigide intermédiaire rendant l'arc et le longeron solidaires.

Les arcs, à section double T, ont $0^m,38$ de hauteur à la clef et $1^m,30$ aux naissances. L'âme verticale, de $0^m,01$ d'épaisseur, est réunie par quatre cornières aux nervures horizontales supérieure et inférieure : celles-ci ont $0^m,53$ de largeur sur $0^m,044$ d'épaisseur pour les quatre arcs extrêmes, et $0^m,028$ pour les huit arcs intermédiaires plus rapprochés; elles sont formées de deux ou trois lames de tôle de $0^m,015$ et $0^m,014$ d'épaisseur réunies par quatre cours de rivets. Les arcs sont en outre roidis par une série de fers à T, courbés en fers à cheval polygonaux, rivés tant sur l'âme que sur les nervures, et espacés de $1^m,50$ environ.

Les longerons qui couronnent les tympans sont à simple T, dont la nervure horizontale a $0^m,30$ de largeur sur

0m,015 d'épaisseur; l'âme verticale a 0m,30 de hauteur et 0m,010 d'épaisseur. Sur environ 21 mètres de part et d'autre de la clef, l'âme des longerons est prolongée jusqu'à l'arc, auquel elle est rivée, de manière à former tympan en partie découpé à jour. Ces longerons sont prolongés dans les culées et fortement ancrés dans les maçonneries.

Les tympans, sauf la partie centrale où ils sont constitués par un prolongement des longerons, sont formés par des fers double T, disposés de manière à présenter une série de V et W; les sommets de ces derniers étant tous placés sur un arc moyen, à peu près également distant du longeron et de l'extrados des grands arcs.

Les fermes sont énergiquement contreventées :

1° Par une double série de cinquante-deux fers à T, de 0m,20 sur 0m,10, espacés de 3 mètres et rivés à l'intrados et à l'extrados de tous les arcs;

2° Par une triangulation en zigzag constituée par quarante-huit bielles, en ventre de poisson et régnant entre chaque arc de rive et l'arc intermédiaire voisin;

3° Par vingt-quatre tubes creux, traversés par des barres de fer de 0m,03 de diamètre, placés au droit de chacune des rosaces des tympans;

4° Par le plancher, en rails Barlow rivés sur chaque ferme.

Cet ouvrage a été construit, en 1854 et 1855, sur les projets et sous la direction de M. Oudry, ingénieur des ponts et chaussées.

On y a employé 1,120 tonnes de fer.

La dépense, à forfait, a été de 1,150,000 francs, soit environ 700 francs par mètre superficiel, en plan.

IV

PONT TOURNANT DE BREST,

SUR LA PENFELD.

Un modèle du pont à l'échelle de $0^m,02$ (un cinquantième).
Un modèle d'une tour et de son mécanisme à l'échelle de $0^m,10$ (un dixième).
Une vue perspective du port de commerce.

Dispositions générales. — Le pont établit la communication entre les villes de Brest et de Recouvrance, séparées par la Penfeld, à une hauteur de 29 mètres au-dessus du zéro de l'échelle des marées. Le passage libre entre le dessous des fermes et le niveau des hautes mers est de $19^m,50$. La distance entre les parements des culées est de 174 mètres. Les deux volées métalliques, qui occupent cette longueur de 174 mètres, reposent chacune sur une pile circulaire dont le diamètre au sommet est de $10^m,60$. L'écartement des piles, de centre en centre, est de 117 mètres; la largeur libre du passage, au moment de l'ouverture des volées, est donc de 106 mètres environ. Cette largeur est sensiblement égale à celle du chenal lui-même, qui forme le port militaire, de telle sorte que la construction du pont, qui est situé à l'entrée de ce port, n'a apporté aucune entrave à la circulation des navires de la marine.

Tablier. — Les deux volées qui supportent le tablier

ont chacune une hauteur de $7^{m},72$ au droit des piles et de $1^{m},40$ à leur extrémité. La largeur de la chaussée est de 5 mètres et celle des trottoirs de $1^{m},10$. Chaque volée est formée par deux poutres; chaque poutre se compose d'un longeron haut et d'un longeron bas, en forme de T dans la coupe, lesquels sont entretoisés par des montants et contreventés par des croix de Saint-André ayant en section la forme d'une $\times$. Au droit de chaque montant les poutres sont reliées par des entretoises et des croix de Saint-André. Comme les volées, dans leur mouvement de rotation, sont soumises à des efforts de flexion transversale à leur longueur, il était indispensable de les armer fortement dans ce sens. A cet effet on a tiré profit du plancher pour la partie supérieure. Il a donc été formé de deux couches de bois superposées de façon à croiser tous les joints et à constituer un plan rigide. Dans le bas, au contraire, les poutres ont été reliées et armées par un réseau complet d'entretoises et de croix de Saint-André, partant du centre de rotation et s'étendant à toute la longueur du pont.

La culasse des volées a reçu la forme d'une caisse, dans laquelle est logé le contre-poids qui doit faire équilibre à la partie antérieure. Le point le plus difficile, dans la composition des volées, était évidemment l'organisation de la partie qui se trouve au droit des piles, où aboutissent toutes les pressions provenant des charges mortes et toutes les réactions dues à la rotation. Il fallait défendre la charpente contre ces fatigues, et de plus, comme elle devait être assise sur une couronne de galets, il était essentiel d'arriver à répartir la charge, autant que pos-

sible, également sur tous les rouleaux. Pour cela, la division des montants des poutres a été réglée de façon à faire coïncider deux d'entre eux, dans chaque poutre, avec le milieu des couronnes et à former ainsi quatre points d'appui principaux, qui ont été renforcés d'une manière spéciale à l'aide de colonnes. Ces colonnes sont reliées par quatre fortes croix de Saint-André; en outre, elles sont traversées par une tour cylindrique en tôle, fortement armée et munie de plates-formes en haut et en bas. Cet ensemble de pièces forme ainsi un massif en rapport à la fois avec les poutres et avec les couronnes de roulement, et propre, par suite, à remplir les fonctions que l'on vient d'indiquer.

Couronnes de roulement. — Le système des couronnes de roulement est le même, en principe, que celui des plaques tournantes des chemins de fer. Mais, comme il s'agissait d'un diamètre de 9 mètres et d'une charge d'environ 600,000 kilogrammes, il a fallu arriver à des dimensions relativement considérables pour chaque détail. Les galets sont au nombre de cinquante; leur diamètre moyen est de $0^{m},50$ et leur longueur de $0^{m},60$. Les couronnes ont été tournées sur leurs faces, haute et basse, avec un soin exceptionnel, et, à cet effet, un appareil spécial a dû être construit au Creusot au prix de 75,000 francs.

Mécanisme de rotation. — La partie dormante des couronnes de rotation porte à sa circonférence extérieure des dents d'engrenage; à ces dents correspond un pignon dont l'axe est solidaire avec la couronne de rotation mobile; cet axe de pignon reçoit son mouvement à l'aide d'une roue d'engrenage, laquelle est mue elle-même par un deuxième

pignon calé sur l'arbre moteur. Ce dernier est vertical et monte jusqu'au plancher; là il porte un croisillon armé de barres de cabestan : c'est sur ces barres qu'agissent les hommes de manœuvre. Une fois la rotation accomplie, le croisillon s'abat sous le tablier en bois, et celui-ci se trouve dégagé de suite et prêt à permettre la circulation. Ce mécanisme est à la fois très-simple, très-commode et très-puissant. Il est simple, parce que le nombre d'intermédiaires entre la puissance et la réaction est très-réduit; il est commode, parce que du haut du pont les hommes de manœuvre sont juges eux-mêmes des effets de leur action; il est puissant, parce qu'il permet au besoin d'augmenter dans une forte mesure le nombre d'aides nécessaires aux manœuvres.

Mécanisme de calage.—Pour assurer une grande stabilité au tablier pendant la circulation, on a jugé utile d'ajouter des mécanismes de calage à l'avant et à l'arrière des volées. A l'avant, ce sont des verrous en fer qui se poussent de l'extrémité d'une volée dans l'extrémité de l'autre; à l'arrière, ce sont des leviers ressemblant aux mâchoires d'un étau qui serait couché horizontalement. Le point fixe, qui est saisi par ces leviers, est formé par une pièce de fonte fortement scellée dans le massif de la culée. Les leviers eux-mêmes tiennent, au contraire, par leur axe à la charpente de la culasse. Il existe deux systèmes de leviers à chaque culasse, et deux systèmes de verrous à la jonction des volées.

En outre, dans le but de soulager, lorsque le pont est en service, les galets de roulement de la charge considérable à laquelle ils sont soumis, on a placé à l'origine de

la partie inclinée de chaque volée deux verrins qui s'appuient sur des plaques noyées dans le couronnement de la pile. Chacun d'eux est destiné à soulever l'une des poutres de la volée. Il se compose d'une forte vis fixée à la poutre et d'un écrou portant sur la plaque métallique et dont la tête est une roue dentée. Celle-ci engrène avec un pignon vertical dont l'axe porte une poulie sur laquelle s'enroule une chaîne sans fin. Les chaînes des deux verrins de chaque volée vont passer sur une poulie double montée sur un arbre vertical que met en mouvement un cabestan articulé; celui-ci s'abat et se loge sous le plancher du pont. Avant de livrer le pont à la circulation, on met en action les verrins.

Manœuvres. — Pour manœuvrer les volées, les gardiens commencent par dégager les verrous du milieu du pont, puis les mécanismes de calage aux culées. La rotation est produite ensuite à l'aide du mouvement de cabestan décrit plus haut. Par un temps de calme plat, deux hommes, pour chaque volée, opèrent soit l'ouverture complète du pont, soit sa fermeture, toutes manœuvres comprises, en quinze minutes au plus.

Maçonneries. — Tous les ouvrages de maçonnerie ont été fondés directement sur le roc. Les parements des piles sont en pierre de taille de grand appareil; ceux des culées sont en moellons piqués avec chaînes en pierre de taille aux angles.

Montage du tablier métallique. — Cette opération a été faite sur pont de service, les volées établies parallèlement au chenal. Le montage terminé, les volées ont été rapprochées et se sont rencontrées, à quelques centimètres

près, au même niveau. On avait établi les plates-formes en se servant du niveau des hautes marées, comme moyen de fixer leur hauteur.

Réparations. — Pour un ouvrage renfermant un aussi grand nombre de pièces ajustées que le pont de Brest, il convenait de prévoir le cas où une réparation deviendrait nécessaire soit par suite d'avaries, soit par suite de l'usure même des métaux. Les galets et couronnes de roulement se trouvant, sous ce rapport, dans les mêmes conditions que le restant des mécanismes, il fallait songer au moyen de les isoler, au besoin, de la pression du pont. Pour cela, des dispositions ont été prises pour établir momentanément, sur le massif des piles et au-dessous des fermes, quatre presses hydrauliques capables, chacune, de faire un effort d'environ 200,000 kilogrammes. L'eau est foulée simultanément à ces quatre presses par un seul et même jeu de pompes, qui se place au centre de la tour. Ces pompes sont manœuvrées à bras, comme une pompe à incendie. Lors des expériences de réception du pont, la manœuvre a été faite par huit hommes, et le pont s'est soulevé de quelques centimètres au-dessus des galets en moins de dix minutes. Dans ces conditions, tous les détails du mécanisme de roulement auraient pu se démonter et se replacer sans difficulté.

Études et constructions. — Les premiers projets du pont de Brest sont dus à MM. Cadiat et Oudry, mais le projet exécuté est différent de celui qui avait été d'abord présenté par eux; M. Oudry en est le seul auteur.

L'ouvrage entier, maçonnerie, charpente et serrurerie, a été exécuté par MM. Schneider et Cie, du Creusot,

dont M. Mathieu a été l'ingénieur en chef. MM. Maitrot de Varennes et Aumaître, ingénieurs en chef des ponts et chaussées, et Rousseau, ingénieur ordinaire, ont été chargés du contrôle du travail. Les maçonneries avaient été sous-traitées par une société brestoise et ont été exécutées par M. Letessier de Launay, entrepreneur.

Métré. — Le poids des métaux employés à la construction du pont se décompose comme il suit :

Fers de toutes sortes	860,000 kg.
Fontes ajustées	340,000
Total	1,200,000 kg.

Le cube des bois de la chaussée et des trottoirs est de 150 mètres cubes.

Dépenses. — Le pont construit sur la Penfeld a coûté 2,118,835 fr. 10 cent. Cette somme se partage de la manière suivante :

Maçonnerie des piles et culées et de divers ouvrages d'art aux abords	698,743f,10
Volées métalliques	1,180,290 ,00
Cintres et montage de ces volées	119,710 ,00
Ouvrages accessoires des volées	54,426 ,90
Somme à valoir pour dépenses diverses	65,665 ,10
Total égal	2,118,835f,10

V

PONT DE SAINT-SAUVEUR,

SUR LE GAVE DE PAU.

(ROUTE NATIONALE N° 21.)

Modèle à l'échelle de $0^m,04$ (un vingt-cinquième).

Ce pont, qui dessert la route nationale n° 21, est formé d'une seule arche en plein cintre de 42 mètres d'ouverture.

Longueur entre les dés des abords	$66^m,20$
Largeur entre les têtes	4 ,90
Largeur entre les faces extérieures des garde-corps	6 ,20
Épaisseur à la clef	1 ,45
Hauteur de la chaussée au-dessus de l'étiage	65 ,50

La voie charretière a $4^m,50$ de largeur entre deux trottoirs ayant, y compris la balustrade en fonte, $0^m,85$ de largeur. La plus grande partie de ces trottoirs se trouve placée en encorbellement et soutenue par des consoles.

La voûte s'appuie directement sur le rocher, qui fait ainsi fonction de culées. Les têtes de la voûte, les consoles et les plinthes sont en pierre de taille; le reste du corps de la voûte est en moellons bruts schisteux et ciment de Vassy; les tympans, à joints incertains, sont en moellons calcaires et chaux grasse additionnée d'un dixième de ciment de Vassy.

On a dû établir, pour la construction du pont, un échafaudage partant du fond du gave et prolongé jusqu'à

la rencontre du cintre; il devait supporter une plate-forme établie au niveau des naissances et prévenir les mouvements du cintre dans le sens normal aux têtes.

Cet échafaudage était composé de six poteaux montants, placés deux à deux dans des plans parallèles à l'axe du pont; ils présentaient un fruit de $0^m,05$ par mètre et se trouvaient distants, au niveau du gave, de $7^m,75$, et au niveau de la plate-forme des naissances, de 4 mètres. Dans l'autre sens, les trois poteaux de chaque file étaient distants de 6 mètres.

Ces poteaux étaient contreventés par vingt-huit croix de Saint-André verticales, dont douze normales et seize parallèles au cours d'eau; la liaison du système était complétée par douze chapeaux horizontaux parallèles aux têtes du pont, et huit moises doubles normales à cette direction; la hauteur comprise entre le gave et les naissances se trouvait ainsi partagée entre quatre espèces d'étages de $9^m,50$ de hauteur. Chacun des six poteaux montants inférieurs reposait sur une chandelle en sapin noyée dans un tronc de pyramide en ciment, de 2 mètres de côté. Les poteaux avaient $0^m,35$ sur $0^m,35$; les croix de Saint-André, $0^m,30$ sur $0^m,25$; les chapeaux, $0^m,35$ sur $0^m,30$; les moises, $0^m,30$ sur $0^m,25$ d'équarrissage. Cette palée a exigé l'emploi de 220 mètres cubes de bois de sapin.

La plate-forme horizontale, de 12 mètres de largeur, se composait de poutres reposant sur des sous-poutres placées soit sur les rives, soit sur la palée centrale, et soutenues elles-mêmes par des contre-fiches. Au-dessus de cette plate-forme, la palée se prolongeait dans le même

système de construction jusqu'au-dessous du cintre en deux étages ayant, l'un 8 mètres, et l'autre 6 mètres, ensemble 14 mètres de hauteur.

Le cintre comprenait quatre fermes retroussées; les deux fermes centrales étaient distantes de $1^m,80$ entre elles et de $1^m,475$ des fermes de tête. Chaque ferme se composait essentiellement de six arbalétriers, ayant $0^m,30$ sur $0^m,35$ d'équarrissage et jusqu'à $11^m,70$ de longueur, s'arc-boutant deux à deux et symétriquement soit directement, soit par l'intermédiaire d'entraits. Ces pièces étaient reliées par deux cours de moises horizontales de $0^m,35$ sur $0^m,25$, ayant jusqu'à $15^m,80$ de longueur, et seize clefs pendantes de $0^m,30$ sur $0^m,20$; quarante cours de moises horizontales reliaient les quatre fermes entre elles. Le cube total de bois de sapin s'est élevé à 277 mètres cubes pour les quatre fermes. Le tassement observé lors du décintrement (opéré à l'aide de verrins) a été de $0^m,005$.

Les travaux ont été commencés en 1860, d'après les ordres donnés par l'empereur Napoléon III, et le pont a été livré à la circulation le 30 juin 1861.

Les dépenses se sont élevées à 318,637 francs, dont 121,092 francs de travaux provisoires : le mètre carré, en plan, revient donc à 982 francs, dans lesquels les travaux provisoires entrent pour 373 francs.

Les travaux ont été projetés et exécutés sous la direction de MM. Schérer et Marx, ingénieurs en chef, et Bruniquel, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées.

DEUXIÈME SECTION.

CHEMINS DE FER.

VI

PONT DE TARASCON,

SUR LE RHÔNE.

(LIGNE DE LYON À MARSEILLE.)

Modèle d'une culée, d'une arche et d'une pile à l'échelle de $0^m,04$ (un vingt-cinquième).

Cet ouvrage, établi pour relier la ligne principale du chemin de fer de Lyon à la Méditerranée avec les chemins de la rive droite du Rhône, est composé de sept arches en fonte de 60 mètres d'ouverture sur 5 mètres de flèche :

Longueur entre le nu des culées	$438^m,00$
Largeur entre les garde-corps	9 ,08
Longueur des piles (y compris les deux demi-cylindres qui les accompagnent)	21 ,00
Largeur des piles	9 ,00
Le massif de béton de fondation a { en longueur	24 ,50
Le massif de béton de fondation a { en largeur	12 ,70
Épaisseur uniforme des arcs en fonte	1 ,70

Les piles, assez épaisses pour former culée, portent un encorbellement de 1 mètre à chaque naissance, ce qui donne 62 mètres pour l'espace libre entre deux d'entre elles : elles reçoivent la pression des arcs par l'intermé-

diaire des coussinets formés de blocs de granit appareillés en voûte.

Chaque arche comprend huit fermes espacées de $1^m,25$, sauf les fermes extrêmes qui sont distantes des précédentes de $1^m,35$; chaque ferme est composée d'un arc en fonte, relié à des tympans qui supportent un plancher continu, les corniches, les parapets, le ballast et la voie. Un arc est formé de dix-sept voussoirs pleins, de $1^m,70$ de hauteur et de $0^m,05$ d'épaisseur; ils sont armés de trois cours de nervures de $0^m,05$ d'épaisseur également, mais ayant, les deux extrêmes $0^m,40$, l'intermédiaire $0^m,20$ de largeur totale; il en résulte une épaisseur moyenne de $0^m,096$ pour les voussoirs qui se relient entre eux par des joints de $0^m,40$ de largeur, parfaitement dressés et fixés l'un à l'autre par huit boulons de $0^m,05$ de diamètre. Les arcs sont réunis par un double système d'entretoises; l'entretoisement supérieur est produit par de forts châssis en fonte, formant plateau évidé de $1^m,415$ de largeur, ayant $0^m,18$ de hauteur et $0^m,04$ d'épaisseur, nervures non comprises : ils s'appliquent sur la nervure supérieure des arcs, en embrassant, par une mortaise à queue d'aronde, deux voussoirs contigus, et maintiennent rigoureusement la position des arcs successifs. L'entretoisement inférieur, auxiliaire du précédent, ne comporte que des demi-entretoises de $0^m,625$ de largeur sur $0^m,16$ de hauteur, et laissant indépendants deux voussoirs contigus d'un même arc. La rigidité de ce système empêche le flambage horizontal.

Les tympans sont composés de montants et de châssis. Les montants, très-rigides quoique évidés, ont $1^m,10$ de

face et sont placés au droit de chaque joint de voussoirs : les châssis, plus légers et largement évidés, ont des longueurs de face variables de manière à remplir exactement les vides compris entre les montants successifs. Ces pièces s'appuient soit sur la partie supérieure des voussoirs, soit sur la plate-forme des entretoises aboutissant aux joints.

Le plancher est composé d'une série de plaques de $0^m,018$ d'épaisseur, arquées sur $0^m,09$ de flèche, boulonnées entre elles et sur le sommet des tympans : il forme une surface de fonte continue, entretoisant complétement les huit arcs au niveau supérieur des tympans. Les arcs de tête portent une corniche et un parapet en fonte.

Le lit du fleuve est une couche de sable, surmontée d'une couche de gravier d'épaisseur variable, mais affouillable jusqu'à 10 mètres de profondeur.

Les piles reposent sur un massif de béton, descendu de 8 à 10 mètres au-dessous des basses eaux, et contenu dans une enceinte de pieux et palplanches. Pour draguer cette enceinte, dans laquelle les galets auraient coulé au fur et à mesure de l'approfondissement, on a battu une seconde file de pieux distants de $3^m,20$ des premiers, et l'on a formé, dans cet intervalle, une crèche avec quatre assises de blocs équarris ayant $0^m,70$ de hauteur et pesant environ 6,000 kilogrammes chacun : ces blocs ont suffisamment comprimé le gravier pour l'empêcher de couler dans la fouille. Les pieux ont été battus avec un pilon à vapeur.

Le poids d'une pile est de 11,000 tonnes; en y ajoutant 1,100 tonnes pour le poids des fontes, 600 tonnes

pour le ballast et 300 tonnes pour le poids de deux trains, on arrive à une charge totale de 13,000 tonnes sur le sable, qui se trouve chargé de 5 kilogrammes par centimètre carré.

Il résulte des nombreuses épreuves faites lors de la réception du pont que les entretoises ont servi à atténuer et à régulariser la différence de température entre les arcs; que le relèvement à la clef a été de $0^m,00135$ par degré centigrade; que l'abaissement de la clef a été proportionnel aux charges permanentes et de $0^m,00475$ par 100 tonnes; que les surcharges de poids roulants, résultant du passage simultané de deux trains, ont occasionné des abaissements aux clefs de $0^m,002$ à $0^m,011$.

Les dépenses se sont élevées à 6,500,000 francs, soit environ 1,450 francs par mètre superficiel en plan.

Les travaux ont duré cinq ans, y compris dix-huit mois d'interruption en 1848-49, et le pont a été livré à la circulation en 1852.

Cet ouvrage a été construit par MM. Talabot, ingénieur en chef, et Desplaces, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées (*Annales des ponts et chaussées*, 1854, 1er sem.).

VII

VIADUC MÉTALLIQUE DE BUSSEAU-D'AHUN,

SUR LA CREUSE.

(LIGNE DE MONTLUÇON À LIMOGES.)

Modèle d'une pile et d'une fraction de tablier à l'échelle de $0^m,04$ (un vingt-cinquième).
Dessin de l'ensemble à l'échelle de $0^m,005$ (un deux-centième).

Ce viaduc, jeté sur la Creuse pour le passage du chemin de fer de Montluçon à Limoges, franchit la rivière à $56^m,50$ au-dessus de l'étiage et comprend six travées, dont une de $45^m,25$, quatre de 50 mètres et une de $41^m,25$ d'ouverture; elles sont supportées par deux culées en maçonnerie et cinq piles en charpente métallique reposant sur des soubassements en maçonnerie.

Longueur totale, abords compris				$338^m,70$
Longueur du tablier				286 ,50
Hauteur des rails au-dessus du soubassement				38 ,90
Hauteur des poutres				4 ,43
Largeur entre les garde-corps				8 ,00
Piles en rivière.	Partie métallique.	Hauteur totale		33 ,85
		Dimensions au sommet	$2^m,00$ sur	6 ,00
		Dimensions à la base	3 ,40 sur	10 ,20
	Partie en maçonnerie.	Hauteur maxima au-dessus des fondations		17 ,90
		Dimensions au sommet	$4^m,80$ sur	6 ,53
		Dimensions à la base	12 ,94 sur	15 ,29
		Avant-becs de $6^m,55$ de hauteur appliqués sur les petites faces	2 ,89 sur	6 ,53

On a adopté dans toutes les parties des piles la disposition

pyramidale, c'est-à-dire qu'on a fait converger tous les arbalétriers et tous les parements des soubassements vers un point unique, situé dans l'axe de chaque pile à 38^{m},80 au-dessus des rails : il résulte de cette disposition et des dimensions du plateau supérieur, qui est un rectangle de 2 mètres sur 6, que le fruit 0^{m},067, dans le sens du cours d'eau, est triple du fruit 0^{m},022 dans le sens de la voie.

La partie métallique de chaque pile se compose de huit arbalétriers en fonte distribués en deux palées seulement. La hauteur totale comprend : huit patins annulaires de 1^{m},20 assemblés par une balustrade en fonte de même hauteur qui sert en outre à relier les maçonneries du soubassement; sept étages, de 4^{m},50 de hauteur chacun, d'arbalétriers ou colonnes creuses en fonte reliées par des croix de Saint-André; un couronnement et un chapiteau à charnière, ayant ensemble 1^{m},15 de hauteur et supportant le tablier.

Le diamètre extérieur des colonnes est uniformément de 0^{m},35 à tous les étages; l'épaisseur de fonte est de 0^{m},055 pour le 1er étage; de 0^{m},050 pour le 2e et le 3e; de 0^{m},045 pour le 4e et le 5e; de 0^{m},040 pour les deux derniers étages; les tronçons successifs sont assemblés par quatre boulons de 0^{m},045 de diamètre. Les colonnes sont espacées de 2 mètres au sommet et de 3^{m},40 à la base; le plan de chaque étage est formé de trois carrés juxtaposés qui se retrouvent sur toute la hauteur, et dont l'ensemble a 2 mètres sur 6 au couronnement et 3^{m},40 sur 10^{m},20 au soubassement. Les huit colonnes d'un même étage sont contreventées par des croix de Saint-André, dont six réunissent les colonnes d'une même palée

et quatre relient les deux palées entre elles; de plus, dix entretoises horizontales, dont six parallèles à l'axe de la pile et quatre perpendiculaires à cet axe, sont placées aux points de jonction des étages successifs. Les croisillons sont doubles et constitués par des fers en U de $0^m,10$ de largeur sur $0^m,011$ d'épaisseur, et les branches de $0^m,04$ et $0^m,045$ de saillie. Les entretoises ont $0^m,25$ de hauteur et $0^m,125$ de largeur; elles sont formées de deux fers à T, assemblés en croix, ayant chacun $0^m,125$ de base avec même hauteur et $0^m,012$ d'épaisseur. Enfin, les croisillons horizontaux formant les diagonales des trois carrés constitués à chaque étage par les dix entretoises sont en fers à T, dont la base a $0^m,07$ sur $0^m,012$ d'épaisseur, et la nervure $0^m,06$ sur $0^m,011$.

Pour résister aux effets du vent et aux efforts de traction, les arbalétriers ont dû être fortement amarrés; on a employé dans ce but des tiges verticales de $0^m,06$ à $0^m,10$ de diamètre, noyées dans les maçonneries de la pile sur $3^m,70$ à $5^m,50$ de hauteur, retenues en bas par des plaques clavetées; elles traversent les patins, sur lesquels elles sont serrées, au niveau supérieur de la balustrade, par des écrous logés dans le creux des arbalétriers; on est arrivé ainsi à donner à ces barres d'amarre une tension initiale suffisante pour que l'effort de traction dû aux forces extérieures ne pût communiquer aux piles entières des oscillations dangereuses.

En supposant réunies les circonstances les plus défavorables de surcharge, de dilatation et de vent, le maximum du travail des arbalétriers extrêmes serait de $4^{kg},75$ à la compression et de $0^{kg},92$ à l'extension; celui des croisillons

en fer pourrait, dans le même cas, s'élever à $6^{kg},3$ à l'extension, et celui des entretoises à $2^{kg},3$.

Les patins peuvent exercer sur le couronnement des piles une pression maxima de 48 kilogrammes par centimètre carré; ils reposent sur deux et trois assises en lave de Volvic, dont les pierres ont $0^m,65$ d'épaisseur et plus de $2^m,30$ de surface; la pression transmise à la maçonnerie de moellons granitiques est réduite à 8 kilogrammes par centimètre carré.

Le tablier métallique est constitué par quatre poutres distantes de 2 mètres d'axe en axe et reliées entre elles de manière à former une seule pièce régnant d'une culée à l'autre; elles ont $4^m,43$ de hauteur.

Chaque poutre est composée de deux longerons réunis par une paroi en treillis. Les longerons sont composés d'une table horizontale de $0^m,50$ de largeur et $0^m,042$ d'épaisseur, formée de trois feuilles de tôle et de deux cornières de $0^m,20$ sur $0^m,10$, et $0^m,016$ d'épaisseur, embrassant les lames du treillis. Ce treillis est constitué par des fers plats résistant à la traction et par des doubles fers à T résistant à la compression; ils ont $0^m,15$ de largeur et sont distants de $1^m,40$. En outre, au droit des extrémités supérieures de chaque arbalétrier, les poutres sont renforcées par de fortes armatures en fers double T, composées de deux et trois épaisseurs de tôle ayant $0^m,50$ de largeur, $0^m,20$ de table et $4^m,43$ de hauteur.

Le contreventement vertical est opéré par une série de trois croix de Saint-André, distantes de 4 mètres, qui relient les poutres deux à deux; elles sont en fer en U de $0^m,10$ sur $0^m,011$ d'épaisseur et $0^m,04$ de saillie, et tra-

versées à mi-hauteur par une barre en fer méplat de $0^m,08$ sur $0^m,02$. Horizontalement, les poutres sont contreventées, tant en haut qu'en bas, par une série de croix de Saint-André régnant entre les deux poutres centrales et formant les diagonales d'une suite de carrés de 2 mètres de côté; les poutres de rive ne sont reliées à leur voisine que par une série de demi-croix analogues; les fers en U de toutes ces croix ont $0^m,10$ sur $0^m,011$ et $0^m,04$ de saillie. De plus, au droit de chaque croix verticale, se trouve une entretoise reliant les trois poutres et formée de fers à T de $0^m,125$ sur $0^m,15$ et $0^m,013$.

Les poutrelles sont distantes de 2 mètres et placées aux sommets des mailles du treillis; elles sont en fers à T ayant $0^m,15$ de tablette sur $0^m,30$ de hauteur et $0^m,01$ d'épaisseur, avec cornières de $0^m,07$ sur $0^m,012$; entre deux d'entre elles, on a intercalé deux fortes cornières de $0^m,125$ de côté et $0^m,0125$ d'épaisseur, qui sont rivées aux garde-grèves et aux armatures métalliques des longrines sous-rails; cette disposition réduit à $0^m,67$ la distance des points d'appui du platelage, qui est composé de longrines de $0^m,15$ d'épaisseur.

Chaque ferme du tablier ne porte qu'en un seul point sur le couronnement des piles: on a adopté cette disposition pour éviter les inégales répartitions de charge qui auraient eu lieu entre les arbalétriers des deux palées lors du passage des trains. Un même arbalétrier aurait été, en effet, soumis, à des intervalles très-rapprochés, à une compression de 183 tonnes, puis à une traction de 50 tonnes. On a interposé, entre chaque ferme et le couronnement, un chapiteau à charnière qui forme point d'appui

unique à égale distance des deux arbalétriers, et qui permet au tablier de s'incliner librement en oscillant de $0^m,013$ dans chaque sens au droit de chaque palée, sans entraîner ses supports. Les quatre chapiteaux d'une même pile ont $0^m,62$ de hauteur et sont reliés entre eux par deux barres en fer rond de $0^m,07$ de diamètre.

Pour prévenir les notables accroissements qui se seraient produits dans les charges des arbalétriers, si l'on avait laissé le tablier entraîner les piles dans ses mouvements de dilatation, on a placé des rouleaux de friction sur les petites piles et sur les culées.

Le levage des piles métalliques s'est opéré en employant le tablier lancé en porte à faux comme pont de service, ce qui a permis de descendre toutes les pièces d'une pile à l'aide d'une grue et de les mettre en place sans échafaudage.

La dépense totale s'est élevée à 1,514,989 francs, soit 4,473 francs par mètre courant, et 126 francs par mètre carré d'élévation, vides et pleins compris : les prix moyens sont de 2,870 francs par mètre de hauteur de soubassement à raison de 37 francs le mètre carré; de 2,322 francs par mètre de hauteur de pile métallique; de 2,705 francs par mètre courant de tablier. La partie métallique d'une grande pile a employé 100 tonnes de fonte à $0^f,43$ le kilogramme, et 56 tonnes de fer à $0^f,60$.

Pendant les épreuves, la flèche maxima des travées a été de $0^m,01$ sous la surcharge uniforme, et de $0^m,025$ pour une travée chargée de 8,000 kilogrammes par mètre courant, comprise entre deux travées chargées l'une de zéro et l'autre de 1,000 kilogrammes par mètre courant.

Le viaduc a été construit, de 1863 à 1865, sous la

direction de MM. Thirion, ingénieur en chef des ponts et chaussées et directeur du réseau central de la Compagnie d'Orléans, Nordling, ingénieur en chef, et Geoffroy, ingénieur ordinaire du même réseau. La partie métallique a été confiée à l'usine de MM. Cail et compagnie.

VIII

VIADUC MÉTALLIQUE DE LA CÈRE.

(LIGNE DE FIGEAC À AURILLAC.)

Modèle d'une pile et d'une fraction du tablier à l'échelle de $0^m,04$ (un vingt-cinquième).
Dessin de l'ensemble à l'échelle de $0^m,005$ (un deux-centième).

Ce viaduc, jeté sur la Cère pour le passage du chemin de Figeac à Aurillac, franchit la rivière à $55^m,30$ au-dessus de l'étiage et comprend cinq travées en fer, dont une de $41^m,25$, trois de 50 mètres et une de $45^m,25$, supportées par deux culées en maçonnerie et quatre piles en charpente métallique reposant sur des soubassements en maçonnerie.

Longueur totale, abords compris				$308^m,50$
Longueur du tablier				236 ,50
Hauteur des rails au-dessus du soubassement				39 ,00
Hauteur des poutres				4 ,42
Largeur entre les garde-corps				4 ,50
Piles.	Partie métallique.	Hauteur totale		33 ,87
		Dimensions au sommet	$2^m,50$ sur	5 ,00
		Dimensions à la base	4 ,60 sur	9 ,20
	Partie en maçonnerie.	Hauteur au-dessus des fondations		17 ,20
		Dimensions des ellipses.	Au sommet. $6^m,50$ sur	12 ,80
			A la base... 8 ,08 sur	16 ,16

Le viaduc de la Cère a été projeté par les mêmes ingénieurs que celui de Busseau-d'Ahun; il a été exécuté dans

les mêmes ateliers; aussi ces deux viaducs présentent-ils la plus grande analogie dans leur ensemble et dans leurs détails; ils diffèrent toutefois en un point capital : le viaduc de la Cère est à une seule voie, supportée par deux poutres distantes de $3^m,50$.

On a également adopté la forme pyramidale pour les piles, dont toutes les parties sont des troncs de cônes elliptiques ou de pyramides octogonales dont le sommet commun est situé à $31^m,20$ au-dessus des rails.

Pour concilier cette forme avec les forts empatements nécessaires et aussi pour faire reposer le tablier, dont les points d'appui forment un rectangle de $3^m,50$ sur 42 mètres, sur le polygone formé par les sommets des arbalétriers, on a adopté en plan une disposition polygonale pour les piles; leur section est partout un octogone composé d'un carré central allongé par deux trapèzes isocèles dont le petit côté et la hauteur sont égaux au demi-côté du carré. Les dimensions en sont de 5 mètres sur $2^m,50$ au chapiteau et de $9^m,10$ sur $4^m,60$ à la base. Par suite, le fruit des arbalétriers intermédiaires est de $0^m,033$ dans le sens de la voie, et de $0^m,067$ dans le sens du cours d'eau; le fruit des arbalétriers extrêmes est deux fois moindre.

Les piles sont constituées par huit arbalétriers ou colonnes creuses en fonte, reposant sur des patins assemblés par une balustrade et surmontés par un couronnement et un chapiteau à charnière. Les étages, au nombre de sept, ont $4^m,50$ de hauteur; le diamètre extérieur des colonnes extrêmes est de $0^m,30$, leur épaisseur de fonte est de $0^m,045$ au premier étage, de $0^m,040$ au deuxième, de

$0^m,035$ au troisième, et de $0^m,030$ aux quatre étages supérieurs; cette épaisseur est partout de $0^m,030$ pour les arbalétriers intermédiaires.

Les colonnes sont reliées et contreventées par des croix de Saint-André et des entretoises; les croisillons sont toutefois au nombre de deux par étage sur les petites faces parallèles à la voie; ils sont réduits à deux demi-diagonales sur les quatre faces formant pans coupés.

Les fers en U des croisillons ont exactement les mêmes dimensions qu'à Busseau-d'Ahun, — $0^m,100$, — $0^m,040$, — $0^m,011$; il en est de même des entretoises, dont les fers à T ont chacun $0^m,125$, — $0^m,125$, — $0^m,012$; enfin les croix horizontales, à T, ont $0^m,070$, — $0^m,060$, — $0^m,012$.

Les patins de base sont traversés par des barres de fer de $0^m,10$ de diamètre, amarrées à $6^m,50$ de profondeur dans les maçonneries de la pile.

Dans les circonstances les plus défavorables, le maximum du travail des arbalétriers serait de $4^{kg},91$ à la compression et de $1^{kg},27$ à l'extension, celui des croisillons de $5^{kg},4$ et celui des entretoises de $2^{kg},1$.

Le couronnement des soubassements est constitué par deux et trois assises de pierre granitique qui peuvent être appelées à supporter, sous les patins, une pression maxima de 27 kilogrammes par centimètre carré; la maçonnerie brute n'est pas exposée à supporter plus de 8 kilogrammes.

Les dispositions adoptées dans la constitution du tablier sont identiquement les mêmes qu'au viaduc de Busseau-d'Ahun. Les seules différences à constater concernent le nombre des fermes, réduit à deux pour une voie unique,

et leur écartement, porté à $3^m,50$ au lieu de 2 mètres; en outre, pour corriger le porte à faux plus considérable des rails, on a donné aux poutrelles $0^m,10$ de hauteur de plus.

On a conservé aussi au viaduc de la Cère les chapiteaux à charnière, les rouleaux de friction et de dilatation sur les petites piles et sur les culées adoptés à Busseau-d'Ahun.

Enfin, le levage des piles et le lançage du tablier se sont opérés aussi de la même façon.

La dépense totale s'est élevée à 858,489 francs, soit 2,783 francs par mètre courant et 85 francs par mètre carré d'élévation : les prix moyens sont de 1,820 francs par mètre de hauteur de soubassement à raison de 30 francs le mètre carré, — de 2,010 francs par mètre de hauteur de pile métallique, — de 1,502 francs par mètre courant de tablier. La partie métallique d'une pile a employé 73 tonnes de fonte à $0^f,45$ le kilogramme, et 52 tonnes de fer à $0^f,62$.

Pendant les épreuves, sous la charge uniforme de 4,000 kilogrammes par mètre courant de tablier, les grandes piles se sont comprimées de $0^m,006$ et le milieu des travées s'est abaissé de 0,018, ce qui réduit la flèche à $0^m,012$ pour 50 mètres d'ouverture.

La construction du viaduc a eu lieu de 1863 à 1865.

Les travaux, projetés par M. Nordling, ingénieur en chef de la Compagnie d'Orléans, ont été exécutés sous la direction de M. Déglin, ingénieur en chef des ponts et chaussées et de la compagnie, et de M. Bertoux, ingénieur ordinaire de la compagnie. La partie métallique a été confiée à la maison Cail et compagnie.

IX

PONT DE CHALONNES,

SUR LA LOIRE.

(LIGNE D'ANGERS À NIORT.)

Modèle de deux arches, de trois piles et d'un cintre à l'échelle de $0^m,04$ (un vingt-cinquième).

Le pont de Chalonnes, construit pour le chemin de fer d'Angers à Niort, est composé de dix-sept arches elliptiques de 30 mètres d'ouverture, surbaissées au quart; les culées comprennent en outre deux petites travées de 4 mètres pour le passage des chemins de halage.

Longueur entre les extrémités des parapets.....	$601^m,50$
Longueur entre le nu des culées.....	566 ,00
Largeur entre les têtes.....	8 ,00
Épaisseur à la clef.....	1 ,35
Épaisseur des piles à la naissance des voûtes.....	3 ,50
Épaisseur des piles à la base du socle.....	4 ,10
Épaisseur des culées.....	17 ,75
Hauteur sous clef au-dessus de l'étiage.....	9 ,37

Les reins des voûtes sont évidés par deux voûtes longitudinales de $2^m,20$ de diamètre.

Les socles et pieds-droits forment trois retraites successives de $0^m,15$, $0^m,08$ et $0^m,07$, qui sont couronnées en pierre de taille; tout le reste de l'ouvrage, jusqu'aux plinthes, est en petits matériaux. Le parapet, généralement évidé, est posé en encorbellement sur les têtes.

Le fond du fleuve se compose de sable et galets reposant sur des schistes et des grès du terrain houiller. Sur la première moitié du lit, le rocher est sensiblement horizontal à des profondeurs de $3^m,75$ à $4^m,65$ au-dessous de l'étiage : on y a fondé la culée de droite et les huit premières piles, par épuisement, dans des batardeaux. Sur la seconde moitié du lit, le rocher s'abaisse successivement jusqu'à $8^m,75$ à la seizième pile; on y a fondé sur béton coulé dans une enceinte de pieux jointifs.

Les cintres fixes comprenaient six fermes ayant cinq points d'appui, dont deux sur les socles et trois sur de doubles files de pieux; le tassement des voûtes au décintrement a été de $0^m,05$.

Les travaux, commencés en juillet 1863, ont été terminés à la fin de 1865.

La dépense s'est élevée à 2,149,000 fr., soit 447 fr. par mètre carré en plan.

Les travaux ont été projetés et exécutés sous la direction de MM. Morandière, ingénieur en chef des ponts et chaussées et directeur des travaux neufs de la Compagnie d'Orléans; Croizette-Desnoyers, ingénieur en chef, Moreau et Dubreil, ingénieurs ordinaires des ponts et chaussées, attachés à la même compagnie.

X

VIADUC DE PORT-LAUNAY,

SUR L'AULNE.

(LIGNE DE CHÂTEAULIN À BREST.)

Modèle représentant trois arches et quatre piles à l'échelle de $0^m,04$ (un vingt-cinquième).

Ce viaduc, construit pour le chemin de fer de Châteaulin à Brest, comprend douze arches de 22 mètres d'ouverture:

Longueur totale des parapets	$357^m,00$
Largeur entre les têtes	8 ,50
Hauteur au-dessus de la vallée	48 ,40
Hauteur au-dessus des mers moyennes	52 ,50
Hauteur au-dessus du rocher de fondation	54 ,70
Épaisseur des piles aux naissances	4 ,80
Épaisseur des piles au-dessus des socles	6 ,13
Épaisseur des voûtes à la clef	1 ,05

Le viaduc est établi à 500 mètres en amont de la dernière écluse de l'Aulne et sur un bief accessible à la navigation maritime; cette circonstance n'a pas permis de le composer de deux étages superposés, ni même d'en contrebuter les piles par des voûtes de moindre largeur.

Chaque pile est composée, au-dessus du massif de fondation dont la profondeur est variable, d'un socle de 10 mètres de hauteur et d'un fût ayant $4^m,80$ d'épaisseur aux naissances et $23^m,30$ de hauteur; les parements ont un fruit de $0^m,02$ dans le sens de la longueur du viaduc et de $0^m,03$ dans le sens de sa largeur. La base du fût forme retrait au-dessus du socle de $0^m,20$ en largeur et de $0^m,10$ en longueur. Les soubassements ou massifs de fondation, quadrangulaires pour les piles de la vallée,

sont arrondis en forme d'avant et d'arrière-becs pour les piles en rivière.

Au-dessus des soubassements, des contre-forts sont adossés aux piles et s'élèvent jusqu'au couronnement de l'ouvrage; ils ont des largeurs qui sont partout égales à la moitié de l'épaisseur des piles, et par suite un fruit de $0^m,01$. Dans le sens normal aux têtes, leur fruit est de $0^m,07$; de plus, ils forment deux retraites de $0^m,20$ à la base du fût et de $0^m,50$ à son sommet, où ils sont couverts par un chaperon de $0^m,80$ de hauteur et de $0^m,20$ de saillie.

De l'ensemble de ces dispositions résultent pour les piles et contre-forts les dimensions suivantes :

	PILES.		CONTRE-FORTS.		DISTANCES verticales entre les points ci-contre.
	LONGUEUR.	ÉPAISSEUR.	SAILLIE sur les parements de tête.	LARGEUR.	
Au-dessous de la plinthe..	$8^m,48$	"	$0^m,20$	$2^m,14$	$12^m,80$
Aux naissances.....	9 ,24	$4^m,80$	0 ,71	2 ,40	
Aux naissances (sommet du fût).....	9 ,24	4 ,80	1 ,21	"	23 ,30
A la base du fût.....	10 ,64	5 ,73	2 ,15	2 ,87	
A la base du fût (sommet du socle).....	10 ,84	6 ,13	2 ,25	3 ,07	10 ,00
A la base du socle.....	11 ,44	6 ,53	2 ,65	3 ,27	

Les culées ont environ 20 mètres de longueur sur 20 mètres de hauteur; on y a ménagé des évidements de $11^m,30$ sur $5^m,20$, recouverts par des voûtes.

Les massifs de maçonnerie sont tous en moellons bruts, les parements vus sont seuls en moellons parementés à bossages rustiques; plusieurs armatures en fer relient les cours supérieurs de voussoirs et les tympans: trois petites

voûtes d'élégissement, de $1^m,20$ d'ouverture, établies sur les reins des grandes arches, sont soutenues par les tympans et par deux murs longitudinaux ayant $0^m,80$ d'épaisseur au sommet; elles sont recouvertes de maçonnerie ordinaire pour régulariser les surfaces, et de deux chapes, l'une de $0^m,05$, en mortier, l'autre, de $0^m,015$, en mastic bitumineux. Enfin, une couche de sable graveleux, de $0^m,60$ d'épaisseur minima, est interposée entre le ballast et les maçonneries; l'ensemble de ces mesures a pour but de donner une grande solidarité aux diverses parties de l'ouvrage et d'y rendre les vibrations à peine sensibles.

Le viaduc est couronné par une plinthe de $0^m,45$ de hauteur, reposant sur des corbelets et surmontée d'un parapet largement évidé, placé en porte à faux de $0^m,15$ sur le parement des têtes. Au droit des contre-forts sont pratiquées des baies d'évitement de $0^m,50$ de profondeur.

Les fondations de toutes les piles ont été assises sur un rocher schisteux, compacte, à lits fortement inclinés, et surmonté d'une couche de vase et de détritus. Trois de ces piles devaient être fondées en lit de rivière; un simple batardeau à mi-marée a suffi pour la pile n° 3; mais pour les n°s 4 et 5, il fallait descendre à $5^m,40$ au-dessous du plan d'eau de la retenue du bief, et à $7^m,40$ au-dessous des plus hautes mers, et l'on a eu recours à un caisson sans fond ayant, en plan, $22^m,75$ sur $10^m,60$ et $6^m,90$ de hauteur. La mise à l'eau de ce caisson (du poids de 75 tonnes) a été facilitée par les circonstances locales qui permettaient d'abaisser momentanément le niveau des eaux en ouvrant les pertuis du barrage de l'Aulne, et de le relever par l'action de la marée.

Un pont de service, composé de deux poutres à treillis de 24^{m},80 de longueur et 1^{m},47 de hauteur qui réunissaient les sommets des piles, a servi à l'apport des matériaux venant de l'une et de l'autre rive; on les soulevait à l'aide de quatre verrins, au fur et à mesure des besoins.

Les pressions aux diverses hauteurs sont :

Aux naissances des voûtes.....	5^{kg},99
A la base des fûts des piles.....	8 ,76
A la base des socles.....	9 ,20
Sur le sol des fondations.....	7 ,34

Le rapport du vide au plein est de 2,13.

Le volume total des maçonneries est de 49,490 mètres cubes, dont 7,455 mètres cubes en fondation et 42,035 mètres au-dessus; le cube par mètre superficiel d'élévation est donc de 3^{mc},46, fondations comprises; le prix moyen du mètre cube de toutes les maçonneries est de 44 francs.

La dépense s'est élevée à 2,165,000 francs, dont 336,000 francs, pour les fondations; par suite, le prix par mètre superficiel d'élévation est de 151 francs, fondations comprises.

Les travaux, commencés en mars 1864, ont été terminés, sauf les parapets, à la fin de 1866.

Les projets du viaduc de Port-Launay ont été dressés et leur exécution a été dirigée par MM. Morandière, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur des travaux neufs de la Compagnie d'Orléans; Croizette-Desnoyers, ingénieur en chef, et Arnoux (Auguste), ingénieur ordinaire des ponts et chaussées, attachés à la même compagnie (*Annales des ponts et chaussées*, 1870, 2e sem.).

XI

PONT-VIADUC DU POINT-DU-JOUR,

À PARIS-AUTEUIL.

(CHEMIN DE FER DE CEINTURE.)

TROIS MODÈLES :

1° Modèle d'ensemble du pont-viaduc à l'échelle de $0^m,01$ (un centième).
2° Modèle d'une arche de rive à l'échelle de $0^m,04$ (un vingt-cinquième).
3° Modèle de deux arches du viaduc à l'échelle de $0^m,04$ (un vingt-cinquième).

La traversée de la Seine, en aval de Paris, au *Point-du-Jour,* entre Auteuil et Grenelle, a donné lieu, pour le chemin de fer de Ceinture, à une suite d'ouvrages importants.

Leur longueur totale se répartit de la manière suivante :

Viaduc d'Auteuil, de la station de ce nom à la route de Versailles	$1,073^m,10$
Viaduc du Point-du-Jour, de la route de Versailles au quai de la Seine (rive droite).	154 ,75
Pont-viaduc sur la Seine	242 ,95
Viaduc de Javel, du quai de la Seine (rive gauche) au commencement du remblai	119 ,65
Total	$1,590^m,45$

Les trois modèles exposés se rapportent : les deux pre-

miers au pont-viaduc proprement dit, et le troisième à un fragment du viaduc d'Auteuil.

PONT-VIADUC DU POINT-DU-JOUR.

Cet ouvrage se compose, en élévation, de deux parties bien distinctes : un pont, ou étage inférieur, destiné aux voitures et aux piétons qui suivent la rue militaire; un viaduc, ou étage supérieur, occupant la partie centrale du pont, destiné au chemin de fer de Ceinture; sa hauteur, au-dessus du massif de béton de fondation, est de $13^m,41$ pour les parapets du pont et de $22^m,53$ pour ceux du viaduc.

1° *Pont ou étage inférieur.* — Il est composé de cinq arches elliptiques de $30^m,25$ d'ouverture et 9 mètres de flèche, reposant sur quatre piles et deux culées auxquelles sont attenantes deux demi-piles.

Longueur entre le nu des culées	$174^m,85$
Largeur entre les têtes	31 ,00
Hauteur sous clef au-dessus de l'étiage	9 ,50
Épaisseur à la clef (voies latérales)	1 ,00
Épaisseur à la clef (sous le viaduc central)	1 ,60
Épaisseur des piles aux naissances	4 ,72
Épaisseur des piles à leur base sur le béton	5 ,72
Épaisseur des culées	5 ,20
Épaisseur des culées (partie centrale)	10 ,86

La largeur de 31 mètres entre les têtes comprend deux parapets de 50 centimètres, deux trottoirs de $2^m,25$, deux chaussées en asphalte comprimé de $7^m,25$ et un trottoir central de 11 mètres correspondant au viaduc du chemin de fer.

Les tympans sont évidés au droit de chaque pile par trois voûtes parallèles au fil de l'eau, construites en meu-

lière brute et ciment, ayant $4^m,60$ d'ouverture et 55 centimètres d'épaisseur à la clef; dans la partie centrale, ces voûtes, qui n'ont alors que le trottoir à supporter, sont en briques creuses et réduites à 22 centimètres d'épaisseur. Les pieds-droits de ces voûtes sont eux-mêmes évidés par huit séries de baies parallèles à l'axe du pont et ayant $1^m,75$ et $2^m,25$ d'ouverture. Cet ensemble de voûtes repose sur des piliers d'épaisseur suffisante pour qu'on ait pu faire passer sur les chaussées latérales un cylindre à vapeur pesant 32 tonnes. Le vide total dû à ces évidements s'élève à 1,495 mètres cubes par voûte, ce qui diminue de 3,300 tonnes le poids supporté par chaque pile, et de $1^{kg},6$ la charge par centimètre carré de béton. Enfin, sous chaque trottoir, on a réservé, pour y placer des conduites d'eau, une galerie de $1^m,52$ de largeur sur 60 centimètres de hauteur, couverte par une voûte en briques de 6 centimètres d'épaisseur.

2° *Viaduc ou étage supérieur.* — Cette partie de l'ouvrage, comprise entre deux arches de 20 mètres d'ouverture jetées sur les quais d'Auteuil et de Javel, se compose de 31 arches en plein cintre de $4^m,80$ de diamètre.

Longueur totale	$242^m,80$
Hauteur au-dessus du pont	9 ,40
Largeur entre les têtes (y compris deux parapets de 35 centimètres)	9 ,00
Épaisseur à la clef des petites voûtes	0 ,45
Épaisseur des piles	1 ,03

Les piles, ayant un fruit de 1 centimètre par mètre sur toutes leurs faces, ont $1^m,028$ aux naissances et $1^m,21$ aux socles.

Les piles et culées sont percées de deux baies de $2^m,25$

d'ouverture et $4^m,25$ de hauteur sous clef pour permettre la circulation des piétons sous le trottoir central. Les tympans des voûtes, de $4^m,80$, sont évidés par des arceaux en briques de 2 mètres d'ouverture et 22 centimètres d'épaisseur.

Les viaducs des quais ont chacun 20 mètres d'ouverture, $2^m,65$ de flèche, 85 centimètres d'épaisseur à la clef et $1^m,55$ aux naissances.

Le sol de fondation se compose d'un banc de craie surmonté, dans le lit du fleuve et sur la rive gauche, d'un banc de gravier; sur la rive droite, de bancs d'argile mêlée de tourbe et de vase.

La culée et l'arrière-culée de droite ont été fondées sur pilotis; les pieux en chêne ont 8 mètres de longueur et pénètrent de 2 mètres au moins dans la craie; ils ont 30 centimètres d'équarrissage; ils sont espacés de $1^m,05$ en moyenne et supportent chacun 28 tonnes environ; ils sont reliés par une couche de béton posée à sec sur $1^m,50$ à 2 mètres d'épaisseur.

La culée et l'arrière-culée de la rive gauche sont fondées sur le gravier, à l'aide d'un massif de béton posé à sec dans une enceinte de pieux et palplanches jointifs.

Les piles ont été fondées sur des massifs de béton reposant sur le banc de craie mis à nu par des dragages préalables; ces massifs ont été coulés dans des caissons sans fond en charpente, de 40 mètres de longueur, 9 mètres de largeur et 8 mètres de hauteur, construits sur place, c'est-à-dire sur l'échafaudage mobile destiné à leur immersion.

Le tassement des voûtes, lors du décintrement opéré au moyen de boîtes à sable, a varié de 9 à 12 millimètres.

Les pressions supportées ne sont pas uniformes dans la longueur des piles; elles y varient de $2^{kg},5$ à 5 kilogrammes sur le sol; de 3 à 6 kilogrammes sur le béton, de $3^{kg},8$ à $6^{kg},5$ sur la maçonnerie à la base des piles: elles atteignent, dans les grandes voûtes elliptiques, 14 kilogrammes aux naissances et $15^{kg},5$ à la clef; ces voûtes sont en meulière brute et mortier de ciment. Dans le viaduc et pendant la surcharge d'épreuve, la pression n'a pas dépassé 4 kilogrammes dans les voûtes et $6^{kg},5$ à la base des piles.

La dépense totale s'est élevée à 2,864,232 francs: le prix moyen par mètre cube de viaduc revient à 25 fr. 64 cent., et par mètre cube de maçonnerie à 57 fr. 20 cent. Le prix pour l'ensemble du pont-viaduc est de 11,793 francs par mètre courant, soit 380 francs par mètre carré en plan, et 549 francs par mètre carré en élévation, vides et pleins compris.

VIADUC DU POINT-DU-JOUR.

Cet ouvrage fait partie du chemin de fer de Ceinture (rive droite); il est compris entre la route de Versailles, où se termine le viaduc d'Auteuil, et le pont-viaduc sur la Seine. Il se compose de vingt-six arches en plein cintre de $4^{m},97$ d'ouverture.

Longueur totale	$154^{m},75$
Hauteur au-dessus du boulevard, de $7^{m},22$ à..	9 ,38
Épaisseur des piles aux naissances	1 ,02
Épaisseur des piles aux socles	1 ,20
Épaisseur des voûtes à la clef	0, 60
Largeur entre les têtes	15 ,00

Cette largeur considérable ($14^{m},20$ entre les parapets)

a été adoptée par la nécessité où l'on s'est trouvé d'établir une station de voyageurs dans cet emplacement.

Les piles sont percées de quatre baies, de 2 mètres d'ouverture et de $4^{m},25$ de hauteur sous clef, séparées par des piliers dont l'épaisseur est de $1^{m},75$ au pilier central, $1^{m},50$ aux piliers extrêmes, $1^{m},125$ aux deux piliers intermédiaires; ces baies permettent la circulation sous le viaduc, qui constitue ainsi un trottoir couvert.

Douze des piliers reposent directement sur un banc de gravier; mais les arches suivantes devaient être jetées sur un sol composé, sur $7^{m},70$ d'épaisseur, d'alluvions récentes avec couches alternatives d'argile, de vase et de tourbe, le tout reposant sur une couche de gros graviers, située à $2^{m},90$ au-dessus de l'étiage. Les piles devant, par suite, avoir une hauteur de 20 mètres environ jusqu'aux voûtes, on a jugé utile de les contreventer par des arceaux; à cet effet, on a simplement supprimé les fondations des piles de rang impair, c'est-à-dire une pile sur deux, et on les a remplacées par des voûtes ogivales reposant sur les massifs de fondation des piles de rang pair. Ces voûtes ogivales, dont les sommets supportent le poids d'une pile et des deux demi-voûtes adjacentes, ne sont pas apparentes, car elles sont comprises dans la hauteur du remblai établi entre le sol naturel et le niveau du boulevard. Les fondations ont pu être établies à sec, malgré leur profondeur, à l'aide d'épuisements.

Les socles et les angles des piles, les corniches, les parapets et les voussoirs de tête sont seuls en pierre de taille; tout le reste du viaduc est en moellon appareillé ou brut.

La pression par centimètre carré est de $4^{kg},80$ sur le sol de fondation, de $5^{kg},30$ sur le béton, et s'élève à 10 kilogrammes dans les voûtes ogivales, qui supportent une pile sur deux.

La dépense s'est élevée à 541,737 francs, dont 42,413 pour les travaux en régie.

Le prix moyen est de $38^{f},32$ par mètre cube de maçonnerie, de 3,501 francs par mètre courant de viaduc, de 418 francs par mètre carré d'élévation au-dessus du terrain actuel, et de 842 francs au-dessus du terrain naturel.

Cet ouvrage a été construit, en 1864 et 1865, par MM. Bassompierre-Sewrin, ingénieur en chef, et de Villiers du Terrage, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées (*Annales des ponts et chaussées*, 1870, 1er sem.).

XII

VIADUC MÉTALLIQUE DE LA BOUBLE.

(LIGNE DE COMMENTRY À GANNAT.)

Dessins à des échelles variant de 0m,004 à 0m,50.

Ce viaduc, jeté sur la Bouble pour le passage du chemin de fer de Commentry à Gannat, franchit la rivière à 66m,10 au-dessus de l'étiage et comprend six travées de 50 mètres d'ouverture; elles sont supportées par deux culées en maçonnerie et cinq piles en charpente métallique reposant sur des soubassements en maçonnerie.

Les dimensions principales sont indiquées ci-dessous :

Longueur totale, abords compris	395m,00
Longueur du tablier	300 ,00
Hauteur des rails au-dessus du soubassement	62 ,00
Hauteur des poutres	4 ,54
Largeur entre garde-corps	4 ,50
HAUTEUR DES PILES MÉTALLIQUES :	
Piles centrales	57 ,50
Piles extrêmes	42 ,50

Les cinq piles sont construites entièrement en métal et les trois piles centrales ont une hauteur uniforme de 55m,80 entre le chapiteau qui supporte les travées et le socle en maçonnerie, élevé de 1m,90 au-dessus des crues de la Bouble.

Les colonnes ou grands arbalétriers en fonte, qui sont

au nombre de quatre seulement pour chaque pile, ont 50 centimètres de diamètre extérieur et leur épaisseur varie de 30 à 45 millimètres. Le vide intérieur a été rempli en béton pour augmenter leur poids. Elles sont divisées par étages de 5 mètres de hauteur, et reliées à chaque étage par un système de barres de fer formant croix de Saint-André, en plan et en élévation.

Les piles forment pyramide et convergent vers un point élevé à 40 mètres au-dessus du niveau des rails. Les colonnes présentent ainsi, de face, un fruit de $0^{m},025$, et transversalement, un fruit de $0^{m},035$; au sommet la plate-forme a une largeur de $2^{m},50$ et $3^{m},50$ de longueur.

A la partie inférieure, les arbalétriers sont fortement contre-butés contre l'action du vent par des jambes de force, formant arcs-boutants, et qui embrassent les trois étages inférieurs; ces arcs-boutants sont décrits avec un rayon de 24 mètres et donnent un empatement de $6^{m},60$, de sorte que les trois grandes piles centrales ont à la base une longueur totale de $20^{m},60$.

Les pressions maxima que supportent les fontes des colonnes, par millimètre carré, sont les suivantes : au sommet des piles, $1^{kg},80$; à l'origine des jambes de force, $1^{kg},77$; à la base, sur les jambes de force seules, $2^{kg},33$; et sur les jambes de force et les colonnes réunies, $1^{kg},38$.

Au centre de chaque pile, s'élève verticalement une colonne en fonte qui soutient les contreventements horizontaux des divers étages et les tirants qui relient transversalement les centres des croix de Saint-André. Une échelle, disposée en forme d'hélice, s'enroule autour de cette colonne centrale et sert à visiter toutes les parties

de la construction. Enfin un paratonnerre, placé dans l'axe de la pile centrale, s'y bifurque en deux branches soudées à chaque poutre et se termine par deux pointes au-dessus des garde-corps.

Les travées, composées de deux poutres à treillis, distantes de $3^m,50$ d'axe en axe, reposent directement sur les grandes colonnes en fonte des piles. La hauteur de ces poutres est de $4^m,54$; la paroi verticale est formée de grandes mailles de 4 mètres de largeur, espacées de 2 mètres les unes des autres, de sorte qu'elles forment un double treillis. Les barres dirigées vers les culées sont en fer en U et celles dirigées vers l'axe de la travée sont en fer plat. Les treillis sont, en outre, renforcés et roidis par des montants verticaux espacés de 2 en 2 mètres, et formés de deux cornières qui relient et soutiennent les pièces de pont.

Sur ces pièces de pont, distantes de 2 en 2 mètres, reposent six barres à double T, de $0^m,18$ de hauteur, espacées de $0^m,60$ d'axe en axe et sur lesquelles le plancher, formé de fers en A, est rivé directement. Ce plancher est susceptible d'une grande résistance : il reste à découvert, ce qui permet de le visiter et de l'entretenir.

Une passerelle de $0^m,70$ de largeur a été ménagée à la partie inférieure du tablier; elle règne dans toute l'étendue du viaduc métallique, et l'on y descend par des escaliers pratiqués dans l'intérieur des culées.

Comme pour les viaducs de Busseau-d'Ahun et de la Cère, le tablier du viaduc de la Bouble repose sur les piles au moyen d'un chapiteau à charnière; toutes les charges permanentes ou accidentelles se répartissent ainsi d'une

manière très-égale entre les quatre grands arbalétriers des piles.

Le tablier a été construit du côté de la rive gauche de la Bouble, sur une plate-forme de 150 mètres de longueur et 25 mètres de largeur, dérasée à $5^m,20$ en contre-bas du niveau de la voie définitive; puis il a été lancé dans l'espace de manière à dépasser d'une longueur exacte de 50 mètres, d'abord la culée, puis successivement chacune des piles aussitôt après leur achèvement.

Préalablement, pour chaque pile, on avait construit le soubassement en maçonnerie et élevé les trois premiers étages de la partie métallique, parce que l'assemblage des jambes de force exigeait des soins particuliers et demandait plus de temps. Les fontes et les fers des étages supérieurs étaient amenés sur le tablier même du pont, et de là descendus sur la pile au lieu d'emploi, comme cela avait été pratiqué à Fribourg, à Busseau-d'Ahun et à la Cère.

La dépense totale s'est élevée à 1,100,000 francs, soit 2,785 francs par mètre courant et $61^f,45$ par mètre carré d'élévation : les prix moyens sont de 1,530 francs par mètre de hauteur de pile métallique; de 1,400 francs par mètre courant de tablier. La partie métallique d'une grande pile a employé 151 tonnes de fonte à $0^f,42$ le kilogramme, et 45 tonnes de fer à $0^f,55$.

Pendant les épreuves, la flèche maxima des travées a été de $0^m,019$ sous la surcharge uniforme, et de $0^m,030$ pour une travée chargée de 4,000 kilogrammes par mètre courant et comprise entre deux travées non chargées. Les piles centrales se sont comprimées de $0^m,005$ sous le poids mort.

Le viaduc a été construit, de 1868 à 1870, sous la direction supérieure de M. Didion, délégué général du Conseil d'administration de la Compagnie d'Orléans, et de M. Thirion, directeur du réseau central, par MM. Nordling (W.), ingénieur en chef; Delom, ingénieur, pour la partie métallique, et Geoffroy, ingénieur, pour la maçonnerie et les abords.

L'entreprise de la partie métallique était confiée à la maison Cail et Cie et à la Compagnie de Fives-Lille, représentées par M. Moreaux, ingénieur en chef.

XIII

NOUVELLE GARE
DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS,
A PARIS.
(COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS.)

Une feuille de dessins aux échelles variant de $0^m,005$ à $0^m,02$.

Les développements successifs que le réseau de la Compagnie d'Orléans a reçus depuis son origine ont donné à sa gare de tête une importance et une activité de mouvement que l'on était loin de prévoir à l'époque où l'ancienne gare des voyageurs de Paris a été construite. Après vingt ans d'usage, cette gare a dû être abandonnée et démolie pour faire place à une gare nouvelle, dont les dessins joints à cette notice représentent les dispositions principales.

Emplacement. — L'ancienne gare était située entre le boulevard de l'Hôpital et la rue de la Gare. Tout le terrain compris entre cette rue et le quai d'Austerlitz a été ajouté à la gare nouvelle, qui se trouve ainsi limitée et desservie d'un côté par le quai, et de l'autre par le boulevard de l'Hôpital. La superficie de la gare, qui était autrefois de 4 hectares 10, s'est trouvée ainsi portée à 10 hectares.

Dispositions générales. — Le plan général de la nouvelle gare ressemble beaucoup, aux dimensions près, à celui de l'ancienne : à gauche le départ, à droite l'arrivée; en tête, c'est-à-dire à l'angle du boulevard et du quai, les bâtiments d'administration.

Bâtiments de départ et d'arrivée. — Le bâtiment de dé-

part des voyageurs, qui constitue la partie la plus importante des constructions de la gare, présente au centre un pavillon en avant-corps, occupé par un vaste vestibule et par les bureaux de distribution de billets; à droite et à gauche du pavillon central, sont deux bâtiments en aile de 60 mètres de longueur chacun, affectés, l'un aux salles d'attente, l'autre à la salle d'enregistrement des bagages. En avant de ces bâtiments, et sur toute leur longueur, règne un portique en fer et fonte de 6^{m},50 de largeur.

Des deux extrémités du bâtiment principal partent des bâtiments en retour, qui s'avancent jusqu'au quai et dans lesquels on a placé les services accessoires : buffet, bureau de poste, bureau télégraphique, logement du chef de gare, etc.

Le bâtiment d'arrivée a la même longueur que celui du départ, mais il est moins large et de construction plus simple. Il se compose uniquement d'un vestibule d'attente et d'une salle de distribution de bagages. A son extrémité se trouve un bâtiment qui fait retour sur la cour, et dans lequel on a placé les bureaux de messageries, l'octroi et divers services accessoires.

La cour d'arrivée, qui a 190 mètres de longueur sur 40 mètres de largeur, est couverte comme une halle sur le tiers de sa longueur, et bordée d'une marquise sur le reste de son étendue.

Halle couverte. — La largeur qui sépare les bâtiments de départ et d'arrivée est de 51^{m},50; elle est occupée par huit voies et deux trottoirs. Un comble d'une seule portée couvre tout l'espace compris entre les deux bâtiments, et se prolonge à 100 mètres au delà, jusqu'à l'ex-

trémité des halles de messageries, pour abriter le matériel remisé sur les voies intermédiaires.

Par ses vastes dimensions et surtout par sa portée exceptionnelle, ce comble est une des parties de l'édifice qui attirent le plus l'attention du public. La longueur totale de la halle est de 280 mètres; la portée du comble est, comme nous l'avons dit plus haut, de $51^{m},50$.

Les fermes, espacées de 10 mètres en 10 mètres, sont composées d'arbalétriers à croisillons en fer plat et cornières, soutenus et reliés par des bielles en fonte et des tirants en fer, d'après le système de triangulation connu sous le nom de *système Polonceau*.

Des consoles en fonte découpée, reposant sur les maçonneries, reçoivent et soutiennent les extrémités des arbalétriers.

Les pannes qui relient les fermes entre elles sont faites à croisillons comme les arbalétriers. Leur table inférieure est cintrée en arc de cercle, de telle sorte que la panne a moins de hauteur en son milieu qu'à son point de jonction avec l'arbalétrier. Cette forme de panne offre moins de sécheresse à l'œil que la forme rectiligne; elle a en outre l'avantage d'augmenter la rigidité de la panne et de contreventer plus fortement l'arbalétrier, qui se trouve embrassé dans toute sa hauteur.

Le poids du comble métallique, y compris les fermes de tête, est de 1,300,000 kilogrammes. Toutes les dimensions des fers ont été calculées de manière qu'en aucun point, même dans les tirants, le travail du métal ne dépasse la limite de 6 kilogrammes par millimètre carré.

Récapitulation. — Le tableau ci-après récapitule les

diverses parties dont se compose la nouvelle gare avec les superficies de chacune d'elles :

1° SURFACES BÂTIES.

Bâtiments d'administration			2,953m
Bâtiment du départ.	Vestibule	600m	6,068
	Salles d'attente	1,295	
	Salles de bagages	1,295	
	Portique couvert	1,044	
	Salon réservé	55	
	Bureaux	393	
	Buffet, poste télégraphique	1,386	
Bâtiment d'arrivée			2,635
Bureau de messageries, octroi, etc.			594
Total des surfaces bâties			12,250m

2° SURFACES COUVERTES NON BÂTIES.

Grande halle des voyageurs	14,714m
Halle pour le petit entretien et la poste	2,876
Halle des messageries	6,400
Partie couverte de la salle d'arrivée	3,432
Total des surfaces couvertes non bâties	27,422m

3° COURS DÉCOUVERTES.

Cours du bâtiment d'administration	653m
Cour du départ (voyageurs)	6,144
Cour du départ (messageries)	10,726
Cour d'arrivée (voyageurs)	5,965
Cour d'arrivée (messageries)	8,684
Total des cours découvertes	32,172m

Exécution des travaux. — Le projet de reconstruction de la gare de Paris a été déclaré d'utilité publique le 12 août 1863; les expropriations de terrains ont été réalisées aussitôt après l'accomplissement des formalités légales, et les travaux de maçonnerie, adjugés en novembre 1864, ont été commencés dans les premiers jours de l'année 1865.

La nouvelle gare a été complétement livrée à l'exploitation au mois de juillet 1869. Ainsi son exécution a duré quatre ans et demi. Ce temps ne paraîtra pas long à ceux qui voudront bien se rendre compte de l'importance des travaux à faire, et considérer que, la nouvelle gare devant être construite sur l'emplacement de l'ancienne, aucun bâtiment ne pouvait être démoli qu'après avoir été remplacé, en sorte que les nouvelles constructions ne pouvaient se faire que par parties successives à travers de nombreuses sujétions. Le terrain sur lequel la nouvelle gare est bâtie se présentait dans des conditions extrêmement défavorables au point de vue des fondations. On a été obligé de descendre à des profondeurs variant de 8 à 11 mètres au-dessous du sol pour trouver un terrain sur lequel on pût s'établir avec sécurité; à ces profondeurs, les épuisements étaient considérables à cause du voisinage de la Seine et de la nature perméable des couches traversées. Ce travail de fondation, qui s'appliquait à plus de 2 kilomètres de murs à construire, s'est accompli sans aucun accident; mais il a donné lieu à une forte dépense.

Le montage des fermes de la grande halle était une des opérations les plus délicates de la construction. Ce montage devait se faire par-dessus les trottoirs et les voies en exploitation, sans interrompre le service de la gare. La difficulté a été surmontée très-heureusement par l'usine du Creusot, au moyen d'un échafaudage roulant, de même largeur que le comble, et couronné, à la naissance de ce dernier, par un plancher sur lequel on avait installé les chèvres et autres engins de levage. Cet appareil offrait toute la commodité désirable pour l'assemblage et la mise

en place des pièces du comble, et dégageait complétement les trottoirs et toutes les voies autres que celles sur lesquelles s'opérait son mouvement.

Dépenses. — L'ensemble des dépenses auxquelles a donné lieu la reconstruction de la gare de Paris se divise en quatre parties distinctes : l'acquisition des terrains ; le bâtiment d'administration ; la gare proprement dite, les travaux accessoires : voies, abords, etc.

L'article achat de terrains est le plus important ; il s'élève à la somme de.....	8,350,000f
La surface acquise est de 64,870 mètres carrés, ce qui fait ressortir le prix du mètre superficiel à 128 fr. 85 c. tous frais accessoires compris.	
Le bâtiment d'administration a coûté.....	1,640,000
Le bâtiment se compose de caves, rez-de-chaussée, deux étages et mansardes.	
La dépense par mètre carré ressort à 355 fr. 70 cent.	
Et les fondations entrent dans ce prix pour 130 francs.	
Les dépenses de la gare proprement dite se sont élevées à.	6,900,000 (1)
A reporter.....	16,890,000

(1) Ces dépenses se décomposent comme il suit :

DÉSIGNATION DES DIVERSES PARTIES DE LA CONSTRUCTION.	PRIX par MÈTRE CARRÉ.	DÉPENSE.
Bâtiment du départ.....	520f	3,156,000f
Bâtiment d'arrivée.....	328	1,158,000
Halle des voyageurs.....	70	1,030,000
Halle des messageries.....	66	422,000
Halle du petit entretien et de la poste.....	44	126,000
Partie couverte de la cour d'arrivée et marquises..	52	178,000
Quais découverts, cours, trottoirs.....	"	580,000
Travaux divers comprenant aqueducs, murs et grilles de clôture.....	"	250,000
TOTAL de la dépense.....	.....	6,900,000

Report.....	16,890,000f
Les travaux accessoires, comprenant les voies, plaques, aiguilles, etc., les déviations de rues, la création d'un chemin entre les gares de Paris et d'Ivry, et enfin la reconstruction et l'élargissement du pont du boulevard de la Gare, ont donné lieu à une dépense de.....	1,110,000
Dépense totale.....	18,000,000

Les travaux dont cette notice présente le résumé sommaire ont été projetés et exécutés, sous la haute direction de MM. Didion, délégué général du Conseil d'administration, et Solacroup, directeur de la Compagnie, par MM. Sevène, ingénieur en chef; Louis Renaud, architecte principal, à qui appartient toute la partie architecturale du projet, et Gilles, chef de section.

Les entrepreneurs étaient :

Pour la maçonnerie : MM. Bouyer, Cohadon, Bagnard, gérants d'une société ouvrière;

Pour les charpentes métalliques : l'Usine du Creusot, principalement représentée par M. Mathieu, ingénieur en chef.

XIV

RAILS EN ACIER

EMPLOYÉS PAR LES PRINCIPALES COMPAGNIES DES CHEMINS DE FER FRANÇAIS.

Divers échantillons et un portefeuille de dessins.

COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER DU NORD.

Profil adopté. — La Compagnie du Nord a adopté pour tout son réseau un rail en acier du type Vignoles pesant $30^k,300$ par mètre. Ce rail est fourni indistinctement par toutes les usines françaises; en ce moment il est laminé dans les établissements de Terre-Noire et dans ceux de la Société des forges du Creusot.

Longueur des barres. — La longueur normale est de 8 mètres, mais on admet dans des commandes, pour faciliter la fabrication, des longueurs réduites, qui sont de 7 mètres, de 6 mètres et de 5 mètres.

Traverses et éclisses. — Le rail est posé avec traverses aux joints, et il est supporté en neuf points présentant les écartements suivants : $0^m,60$ près des joints, $0^m,90$ pour les parties contiguës, et 1 mètre pour toutes les parties intermédiaires. Sur une même file de rails, les barres sont reliées l'une à l'autre au moyen d'éclisses percées, pour le passage des boulons, de quatre trous de $0^m,019$ de diamètre; elles reposent directement sur les traverses dans des entailles préparées pour cet objet, et sont fixées sur celles-ci au moyen de deux tire-fonds en

fer galvanisé pour les traverses intermédiaires, et de quatre tire-fonds pour celles de joints. Les tire-fonds sont serrés contre le patin, que l'on évite de percer et d'encocher sur sa longueur.

Les raisons qui ont arrêté le choix de ce type de rail peuvent se résumer comme il suit :

Avantages de l'acier. — Le premier avantage des rails en acier sur les rails en fer résulte de ce qu'ils s'usent parallèlement et avec lenteur, tandis que les meilleurs rails en fer se détériorent sous l'influence de la circulation, et se trouvent la plupart du temps hors de service avant d'avoir perdu, par une usure régulière, une notable partie de leur poids. Les expériences faites par la Compagnie du Nord sur des rails en fer de toutes provenances ont démontré que les meilleurs d'entre eux ne résistaient pas, sur son réseau, à une circulation de plus de 20 millions de tonnes; pour ceux de qualité ordinaire ce chiffre ne dépasse même pas 14 millions. Pour les rails en acier, tous les essais faits démontrent que leur champignon s'use uniformément d'un millimètre d'épaisseur pour une circulation de 20 millions de tonnes, et comme ces rails sont étudiés en vue d'une usure de 10 millimètres, on peut estimer que la durée des rails en acier répondra à une circulation d'au moins 200 millions de tonnes; c'est-à-dire que leur durée dépassera dix fois celle des meilleurs rails en fer. La substitution des rails en acier aux rails en fer correspond donc à une notable économie d'entretien, en même temps qu'elle assure à la voie une résistance plus égale et qu'elle accroît, dans une forte mesure, la sécurité de l'exploitation.

Le deuxième avantage des rails en acier sur les rails en fer résulte de ce qu'ils sont laminés avec une matière offrant une résistance plus régulière et de beaucoup supérieure à celle composant ces derniers. Des expériences faites pour comparer les deux matières, il résulte en effet : qu'aux essais à la pression les rails en fer conservent des déformations permanentes sensibles, dès que les compressions et tensions des fibres atteignent 17 à 18 kilogrammes par millimètre carré; pour les rails en acier ce chiffre dépasse 38 kilogrammes. Aux essais de traction directe, la matière composant les champignons des rails en fer de bonne qualité est caractérisée par une résistance à la rupture comprise entre 28 et 36 kilogrammes par millimètre carré; pour les rails en acier ce chiffre est compris entre 65 et 75 kilogrammes. Enfin les rails en fer, essayés au choc, à l'appareil dit *du chemin de fer de Lyon,* ne résistent pas en moyenne à une puissance vive dépassant 400 kilogrammètres; pour les rails en acier, du type considéré, cette résistance dépasse 900 kilogrammètres. La matière composant les rails en acier peut donc être caractérisée ainsi : elle offre plus de garantie comme régularité des produits, sa résistance vive élastique et sa résistance vive de rupture sont au moins le double de celles des matières composant les rails en fer.

L'avantage de la substitution de rails en acier aux rails en fer est donc évident si la dépense de premier établissement ne vient pas opposer à cette substitution une raison pécuniaire; or, aux cours actuels et en réduisant le poids des rails en acier à 30 kilogrammes, ce qui leur laisse encore une solidité supérieure à celle des rails en

fer qu'ils remplacent, on peut annuler sensiblement la différence entre le prix de revient kilométrique des voies en acier et celui des voies en fer; il n'y a donc plus aucun intérêt à employer des rails fabriqués avec cette dernière matière.

Détail du profil. — Les conditions qu'on s'est attaché à remplir, et qui ont conduit aux formes représentées par le profil et par les échantillons joints à la présente note, sont les suivantes :

Conserver la hauteur du rail de 37 kilogrammes en fer, ainsi que l'étendue et l'inclinaison des portées de l'éclisse et le bombement du champignon qui avaient donné de bons résultats en service;

Donner à l'usure le plus de marge possible et, dans ce but, accumuler la matière sur le champignon en réduisant l'épaisseur de l'âme, l'épaisseur et la largeur du patin, autant qu'on peut le faire sans rendre la fabrication difficile et sans exagérer le rapport de la hauteur du rail à la largeur de sa base.

Théoriquement, au moment du maximum d'usure, le profil aurait dû être tel que le travail des fibres les plus fatiguées du champignon et du patin fût le même; mais cela nous aurait conduit à un patin un peu trop étroit et un peu trop mince pour l'appui sur les traverses et pour le laminage. Dans le profil adopté, l'égalité des efforts d'extension et de compression se réalise après une usure de 5 millimètres, mais à cet instant le rail n'est pas assez affaibli pour ne pas pouvoir être maintenu en service, et après l'usure d'une nouvelle épaisseur de 5 millimètres

sa résistance est encore supérieure à celle du rail neuf en fer de 37 kilogrammes.

Stabilité du rail. — C'est seulement à l'égard de la stabilité sur sa base que le nouveau type peut être regardé comme plus hardi que l'ancien. La mesure de ce genre de hardiesse est donnée par le rapport de la hauteur à la base; or, ce rapport, qui est de $\frac{121}{101}$ ou 1,19 pour le rail de 37 kilogrammes, s'élève à 1,288 pour le rail en acier de 30 kilogrammes. Mais il y a lieu de remarquer que pour le rail type Vignoles, en fer, employé par la Compagnie de Lyon, ce rapport s'élève à 1,30, et que pour la ligne de Cologne à Minden ce rapport est de 1,356. D'ailleurs le rail ne tend pas, comme on l'a cru d'abord, à se renverser vers l'extérieur de la voie, sous les pressions latérales qu'il subit de la part des rebords des roues, il tend plutôt à être chassé de côté; les tirefonds extérieurs et l'inclinaison donnée à l'entaille de la traverse suffisent pour corriger cette tendance. Une autre conséquence de ces poussées est d'augmenter la pression exercée par le patin du rail contre la traverse du côté vers lequel se produit le mouvement transversal des roues; or, l'expérience acquise, depuis plus de deux ans que ce rail est en service sur le réseau du Nord, démontre bien que cette plus grande pression ne dépasse pas les limites que peuvent supporter les traverses. Il est donc certain que la diminution des dimensions latérales du type primitif de 37 kilogrammes laisse encore le rail dans d'excellentes conditions de stabilité sous son patin.

Qualité de la matière. — Ces résultats de calculs et ces résultats d'observations s'appliquent à une qualité d'acier

caractérisée par une certaine dureté et une résistance déterminée, que les usines françaises fabriquent couramment. Cette qualité est constatée par des essais qui sont stipulés dans le cahier des charges de la Compagnie et qui sont résumés comme il suit :

1re *épreuve (à la pression).* — Chaque rail, soumis à l'essai, placé de champ sur deux points d'appui espacés de 1m,10, devra supporter pendant cinq minutes, au milieu de l'intervalle des points d'appui :

1° Une pression de 17,000 kilogrammes, sans conserver de flèche permanente sensible après l'épreuve;

2° Une pression de 30,000 kilogrammes, sans dépasser une flèche de 25 millimètres.

2e *épreuve (au choc).* — Chacune des deux moitiés de barre cassée, placée de champ sur deux supports espacés de 1m,10, lesquels seront fixés sur une enclume de 10,000 kilogrammes, devra supporter, sans se rompre, le choc d'un mouton de 300 kilogrammes tombant de 2m,25 de hauteur, sur la barre, au milieu de l'intervalle des points d'appui.

Sous des hauteurs de chute successives de.....	1m,00	1m,50	2m,00	2m,25
Les flèches prises ne devront pas s'écarter sensiblement de....	2mm	5mm	11mm	16mm

Essai de pose nouvelle (1). — Enfin on essaye en ce mo-

(1) Cette pose, essayée en 1872, donne de bons résultats; elle est devenue la pose normale de la Compagnie.

On fait usage, depuis deux ans, pour empêcher les rails d'user les traverses, de feutres goudronnés que l'on interpose entre eux. L'emploi de ces feutres semble également donner de bons résultats.

ment un nouveau système de pose qui consiste à ne plus mettre les deux joints sur une même traverse, mais à les placer sur deux traverses voisines.

Bien que cette nouvelle pose ne soit pas appliquée depuis assez longtemps pour être jugée par l'expérience, on croit pouvoir compter qu'elle donnera un roulement plus doux que la pose à joints correspondants; en effet, les chocs dus au passage des deux joints n'étant plus simultanés, leur action sur le mouvement de la voiture est atténuée par ce seul fait.

La rudesse même de chacun de ces chocs est adoucie par les circonstances suivantes :

1° La traverse de joint, au lieu d'être sollicitée au déversement à chacune de ses extrémités, est, au contraire, maintenue à l'une d'elles par la pression du rail continu qu'elle supporte;

2° La traverse recevant des secousses moins violentes conserve mieux le bourrage;

3° Le joint venant à céder au passage d'une roue, la voiture soutenue par les trois autres roues n'est pas libre de suivre le mouvement.

Longueur de voies simples posées en acier. — Cette longueur était, au 1er janvier 1876, de 1,310 kilomètres.

Sous peu, les deux artères principales du réseau : Paris à Erquelines et Paris à Lille, seront complétement en acier.

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DE L'EST.

La Compagnie des chemins de fer de l'Est a fait d'abord poser, sur les parties les plus fatiguées de son réseau,

quelques petites sections de voie en rails d'acier Bessemer, qui lui ont été fournis par les principales usines françaises (Terre-Noire, Rive-de-Gier, le Creusot, Saint-Jacques, Montluçon, Imphy).

Ces rails sont du type Vignoles et du même profil que les rails en fer de 35 kilogrammes le mètre courant, en usage depuis longtemps sur le réseau. Leur poids, en raison de la différence de densité des deux métaux, s'élève à 36 kilogrammes par mètre.

Chaque rail de 6 mètres repose sur deux traverses de joint, par l'intermédiaire de platines à deux rebords, et sur six traverses intermédiaires espacées de 90 centimètres d'axe en axe. Les attaches consistent en tire-fonds galvanisés.

Il existe aujourd'hui 39,500 mètres de voie en rails de ce type.

En même temps, une expérience était commencée et se poursuit encore aujourd'hui pour comparer les durées des rails en acier et en fer. Au mois de mars 1866, il a été posé à la gare de la Villette 60 rails en fer et 60 rails en acier Bessemer du type Vignoles, de 35 kilogrammes le mètre courant, pour y être soumis à des essais comparatifs de durée et d'usure.

Pour s'assurer que ces rails étaient placés dans des conditions identiques de fatigue, on les a posés sur la même voie (descendante) en alternant successivement trois rails en fer avec trois rails en acier.

On a formé deux groupes :

Le premier groupe, comprenant trente-six rails en fer et trente-six en acier, a été placé entre les kilomètres

$1^k,258$ et $1^k,520$, point où tous les trains de marchandises arrivent les freins serrés pour s'arrêter; c'est donc une partie très-fatiguée.

Le deuxième groupe, comprenant vingt-quatre rails en fer et vingt-quatre en acier, a été placé entre les kilomètres $1^k,571$ et $1^k,749$; cette partie est moins fatiguée que la précédente.

Au mois d'août 1869, on a formé un troisième groupe placé dans des conditions de fatigue à peu près semblables à celles du deuxième groupe, composé de six rails du même type, en acier au wolfram, obtenu par le procédé Le Guen.

1° Usure. — Une première constatation de l'usure a été faite en 1872, au moyen de moulages en plâtre pris sur un des trois rails en fer et sur un des trois rails en acier Bessemer, alternant sur chaque file dans les deux premiers groupes.

Ces constatations ont été renouvelées en 1873, 1874 et 1875, en prenant chaque fois les empreintes du moulage sur le même rail et à la même place (le milieu du rail).

La constatation de l'usure des rails en acier au wolfram n'a été faite qu'en 1875.

Les tableaux ci-après indiquent l'usure trouvée, exprimée en millimètres.

1er GROUPE.

NUMÉROS DES RAILS.	MAI 1872.	MAI 1873.	MAI 1874.	AOÛT 1875.
		RAILS EN FER.		
3	4.5	5.3	6.1	6.4
4	4.0	4.4	5.0	5.8
8	4.5	4.9	5.4	5 8
11	6.0	6.3	Remplacé en nov. 1873.	"
15	2.8	Remplacé en juin 1872.	"	"
16	Remplacé en juillet 1871.	"	"	"
21	3.0	3.3	3.6	3.9
22	1.5	2.0	3.0	Remplacé en août 1874.
27	5.0	5.6	Remplacé en déc. 1873.	"
28	3.0	3.7	4.3	4.6
33	4.6	4.8	5.2	Remplacé en juillet 1874.
34	Remplacé en nov. 1868.	"	"	"
MOYENNES...	3.91	4.5	4.657	5.3
		RAILS EN ACIER BESSEMER.		
3	3.0	3.8	4.5	4.9
4	4.0	4.3	4.6	4.9
9	3.5	3.8	4.1	4.6
10	3.5	4.0	4.5	4.9
15	3.5	4.0	4.5	4.9
16	4.0	4.5	5.0	5.3
21	3.5	3.8	4.1	4.5
22	3.5	3.9	4.3	4.6
27	4.2	4.4	4.6	4.9
28	4.0	4.5	4.9	5.2
33	2.5	2.8	3.1	3.3
34	3.2	3.6	4.0	4.2
MOYENNES...	3.533	3.950	4.350	4.7

2e GROUPE.

NUMÉROS DES RAILS.	MAI 1872.	MAI 1873.	MAI 1874.	AOÛT 1875.
	RAILS EN FER.			
39	Remplacé en août 1869.	"	"	"
46	2.3	2.7	3.0	3.4
49	2.2	2.6	3.0	3.3
58	2.5	2.9	3.2	3.4
MOYENNES...	2.333	2.733	3.066	3.366
	RAILS EN ACIER BESSEMER.			
39	0.5	0.9	1.3	1.7
46	1.8	2.0	2.2	2.4
51	1.0	1.3	1.6	2.0
58	1.2	1.6	2.0	2.2
MOYENNES...	1.125	1.45	1.775	2.075

3e GROUPE.

NUMÉROS DES RAILS.	MAI 1872.	MAI 1873.	MAI 1874.	AOÛT 1875.
	RAILS EN ACIER AU WOLFRAM.			
1	"	"	"	1.9
2	"	"	"	2.6
3	"	"	"	1.8
4	"	"	"	1.5
5	"	"	"	2.0
6	"	"	"	2.1
MOYENNES...	"	"	"	1.983

Le tonnage supporté par ces rails, depuis la pose (mars 1866) jusqu'à la dernière constatation de l'usure (août 1875), est de 35,057,537 tonnes. Celui supporté par les rails en acier au wolfram depuis la pose (août 1869) jusqu'à la même époque (août 1875) est de 21,699,558 tonnes.

On trouve, d'après ces chiffres, que, pour user les rails d'un millimètre, le tonnage a été de :

1er GROUPE.		2e GROUPE.		3e GROUPE.
Rails en fer.	Rails en acier Bessemer.	Rails en fer.	Rails en acier Bessemer.	Rails en acier au wolfram.
6,614,630t	7,459,050t	10,415,192t	16,895,198t	10,942,237t

2° Durée. — Les rails en acier ont tous parfaitement résisté et aucun n'a été remplacé.

Il n'en est pas de même des rails en fer, dont on a remplacé 38 sur les 60 posés (63 p. o/o).

Le tableau ci-dessous indique l'époque du remplacement de chaque rail, et le tonnage qu'il a supporté.

1er GROUPE.			2e GROUPE.		
NOMBRE.	DATES.	TONNAGE.	NOMBRE.	DATES.	TONNAGE.
1	Octobre 1867...	6,051,934t	2	Octobre 1867...	6,051,934t
2	Novembre 1868.	9,471,343	1	Novembre 1868.	9,471,343
1	Décembre 1869.	14,950,774	1	Mai 1869.....	12,540,090
1	Juillet 1871....	20,135,382	3	Août 1869.....	13,573,240
5	Mai 1872.....	23,598,639	1	Février 1872...	22,347,908
1	Septembre 1872.	24,533,295	1	Mars 1873.....	26,402,606
1	Novembre 1872.	25,156,399	1	Décembre 1873.	29,051,805
1	Septembre 1873.	28,168,739	1	Février 1874...	29,640,518
4	Novembre 1873.	28,757,450	1	Novembre 1874.	32,352,517
2	Décembre 1873.	29,051,805	2	Janvier 1875...	32,955,183
1	Juillet 1874....	31,147,184			
3	Août 1874.....	31,448,517			
1	Juin 1875.....	34,461,849			
24	Tonnage moyen.	24,542,516t	14	Tonnage moyen.	20,038,644t

Dans le 1er groupe, on a retiré 24 rails sur 36, soit 66,6 p. o/o.

Dans le 2e groupe, on a retiré 14 rails sur 24, soit 58,3 p. o/o.

Les rails en fer, qui servent de terme de comparaison, proviennent des usines de Wendel; ils sont d'excellente qualité, puisque 27 o/o de la quantité totale mise à l'épreuve ont résisté à une circulation de 35 millions de tonnes, et que les 63 p. o/o de rails hors de service ont supporté en moyenne de 20 à 25 millions de tonnes. Quant aux rails d'acier, ils ont été fournis par MM. de Dietrich et Cie, à l'exception des rails au wolfram, qui viennent de Terre-Noire. Pas un seul de ces rails n'est encore retiré des voies, et ils n'ont subi d'autre altération qu'une usure lente et uniforme. Cette usure n'atteint pas même $0^{m},005$ dans le premier groupe, qui est cependant soumis à l'action incessante des freins, et l'on peut, dès maintenant, affirmer que ce n'est qu'après vingt ans de service qu'elle arrivera à la limite au delà de laquelle les rails devront être remplacés. Dans le second groupe, qui se trouve dans une position moins exceptionnelle, quoique encore très-fatiguée, l'usure dépasse à peine $0^{m},002$, et la durée des rails en acier doit y atteindre au moins cinquante ans.

Les rails au wolfram de Terre-Noire s'usent plus vite que les autres rails d'acier; ils proviennent évidemment d'un acier moins carburé, que le wolfram n'a pu suffisamment durcir.

La Compagnie de l'Est a fait aussi des expériences qui ont confirmé, en tous points, celles de la Compagnie du

Nord, sur les résistances comparées des rails en acier et des rails en fer. L'une des épreuves pour les rails en fer consiste à placer une barre sur deux appuis espacés de $1^m,10$, et à la charger, au milieu de sa longueur, de poids qu'on augmente jusqu'à la rupture de la barre, en mesurant la flèche sous chaque charge et la flèche persistante après l'enlèvement de cette charge. Voici les moyennes obtenues sur 40 barres, à l'usine de Stiring :

CHARGES.	FLÈCHES	
	SOUS CHARGE.	PERSISTANTES.
$12,000^k$	$2^{mm},83$	$0^{mm},00$
15,000	4 19	0 14
20,000	11 57	6 62
25,000	36 88	29 06

Sur les 40 rails essayés, 26 ont cassé à 30,000 kilogrammes, 9 à 32,000 kilogrammes, et 5 seulement n'ont pu être cassés, l'appareil ne supportant pas des charges plus grandes.

Le moment d'inertie de la section du rail est $I = 0,0000082$. En introduisant cette valeur dans la formule $E = \frac{Pa3}{48fI}$, et en faisant $P = 12,000$ kilogrammes, $a = 1^m,10$, $f = 0^m,00283$, on trouve le module d'élasticité $E = 14,3 \times 10^9$. Le moment fléchissant correspondant est $\mu = \frac{12,000 \times 1,10}{4} = 3,300$ kilogrammètres, et l'effort auquel sont soumises les fibres les plus fatiguées est $R = 3,300 \times \frac{n}{I} = 3,300 \times 7,560 = 24^{kg},9 \times 10^6$.

En appliquant les mêmes calculs pour la charge de

15,000 kilogrammes, et ne tenant compte que de la flèche élastique $4^{mm},19 - 0^{mm},14$, on trouve seulement $E = 12,5 \times 10^9$.

Ainsi, bien que sous 15,000 kilogrammes la flèche persistante soit encore très-faible, l'élasticité est déjà altérée. Le rail en fer ne peut donc résister sans altération qu'à un moment fléchissant peu supérieur à 3,300 kilogrammètres, correspondant à environ 25 kilogrammes par millimètre carré, et son module d'élasticité est $E = 14,3 \times 10^9$.

Les rails en acier sont soumis à une épreuve analogue; mais à l'usine de Terre-Noire, où les essais ont été faits, la distance des points d'appui est seulement de 1 mètre, au lieu de $1^m,10$. Voici les moyennes de trente-trois essais :

CHARGES.	FLÈCHES	
	SOUS CHARGE.	PERSISTANTES.
18,000^k	$2^{mm},61$	$0^{mm},13$
20,000	2 98	0 24
25,000	5 54	2 11
30,000	12 63	8 03
35,000	22 25	20 31

Un seul des 33 rails essayés a cassé à 38,000 kilogrammes; les 32 autres ont été abandonnés, l'appareil n'étant pas assez puissant pour les rompre.

Sous la charge de 18,000 kilogrammes, la flèche élastique étant $2^{mm},61 - 0^{mm},13$, on trouve $E = 18,4 \times 10^9$; sous celle de 20,000 kilog., on a $f = 2^{mm},98 - 0^{mm},24$ et $E = 18,5 \times 10^9$.

Ainsi l'élasticité n'est pas encore altérée sous la charge de 20,000 kilogrammes, bien que la flèche persistante soit appréciable, mais cette flèche, plus apparente que réelle, paraît due à une légère pénétration des couteaux servant d'appuis (dans l'appareil de Stiring pour rails en fer, les appuis ne sont pas à arêtes vives).

Les rails en acier résistent donc, sans altération de leur élasticité, à un moment fléchissant $\mu = \frac{20,000 \times 1,00}{4}$ $= 5,000$ kilogrammètres, ce qui correspond à $R = 5,000 \times 7,560 = 37^{k},8 \times 10^{6}$.

En comparant les résultats ci-dessus, on reconnaît que :

1° Les rails en acier supportent, sans altération de leur élasticité, un effort moléculaire plus considérable que les rails en fer, dans le rapport $\frac{37,8}{24,9} = 1,5$ environ.

2° Le rapport des modules d'élasticité est $\frac{18,4}{14,3} = 1,28$.

3° Presque tous les rails en fer se cassent sous un moment fléchissant égal à $\frac{30,000 \times 1,10}{4} = 8,250$ kilogrammètres; ceux en acier résistent à $\frac{38,000 \times 1,00}{4} = 9,500$ kilogrammètres. L'appareil d'épreuve des rails en acier n'ayant pas été assez puissant pour les briser, on ne peut exprimer le rapport exact des résistances à la rupture; mais on voit cependant que ce rapport doit être très-élevé.

La résistance des rails en acier au choc est aussi bien plus grande que celle des rails en fer. Ceux-ci sont essayés au moyen d'un appareil qui se compose de deux supports en fonte espacés de $1^{m},10$ reposant, par l'intermédiaire d'un cadre en chêne, sur un solide massif de maçonnerie.

On fait tomber sur le rail, au milieu de l'intervalle des supports, un mouton en fonte de 300 kilogrammes dont on augmente la hauteur de chute jusqu'à la rupture du rail.

Les résultats suivants ont été constatés à la Villette au moyen d'un appareil établi dans ces conditions :

On a éprouvé six rails Vignoles coupés chacun en deux demi-barres de 3 mètres de longueur; chaque demi-barre a été essayée sous des hauteurs de chute successives de $0^m,25$, $0^m,50$, $0^m,75$.

Les épreuves ont eu lieu l'été et l'hiver, afin de constater l'influence de la température sur la résistance au choc. Les hauteurs de rupture observées sur les deux moitiés de chaque rail sont indiquées ci-dessous :

Hiver.....	$1^m,00$	$0^m,75$	$1^m,25$	$1^m,75$	$1^m,00$	$1^m,50$
Été	$1^m,25$	$1^m,75$	$1^m,25$	$2^m,50$	$2^m,50$	$2^m,50$

Moyenne d'hiver.. $1^m,21$. Température moyenne — 8°
Moyenne d'été.... $1^m,96$. Température moyenne + 26°

Les rails en acier sont soumis à une épreuve bien plus énergique. Le mouton pèse 300 kilogrammes et les appuis sont espacés de $1^m,10$ comme pour les rails en fer; mais ces appuis font corps avec une enclume en fonte du poids de 10,000 kilogrammes, fondée sur maçonnerie. Les hauteurs de chute croissent de $0^m,50$ à partir de $1^m,00$.

Sur trente-trois rails en acier fondu essayés à Terre-Noire, on en a cassé un à $1^m,50$, un à 2 mètres, deux à 3 mètres, sept à $3^m,50$, un à 4 mètres, quatre à $4^m,50$, un à 5 mètres; les dix-huit autres rails ont résisté à la plus grande hauteur de chute que pouvait donner l'appareil.

La Compagnie du Nord a obtenu des résultats analogues en comparant, sous un même appareil, les rails en acier de $30^{kg},3$ de son nouveau type avec ses anciens rails en fer de $37^{kg},2$. Le mouton pesait seulement 200 kilogrammes; mais toutes les autres dispositions étaient semblables à celles de Terre-Noire. Les hauteurs successives de chute étant 1 mètre, $1^{m},50$, $1^{m},70$, 2 mètres, $2^{m},50$, 3 mètres, $3^{m},40$; onze rails en acier sur douze ont résisté à la hauteur maxima; un seul a cédé à $3^{m},40$, et l'on a reconnu un défaut au patin dans la section de rupture. Quatorze rails en fer ayant été essayés de la même manière, on en a cassé un à 1 mètre, trois à $1^{m},50$, trois à $1^{m},70$, un à 2 mètres, deux à $2^{m},50$, deux à 3 mètres, deux seulement ont résisté à $3^{m},40$. Malgré la différence des sections, le rapport absolu des hauteurs moyennes de rupture est supérieur à $1^{m},56$. Si l'on a égard à cette différence, on trouve que le rapport des résistances à la rupture, au mouton, de l'acier et du fer dépasse $1,56 \times 1,18 = 1,84$.

Ces considérations ont amené la Compagnie de l'Est à étudier un rail en acier Bessemer de section réduite, comme l'avait fait avant elle la Compagnie du Nord. Cette étude a été soumise à l'administration supérieure, et, par un décret du 18 janvier 1873, la Compagnie de l'Est a été autorisée à faire usage, sur son réseau, de rails en acier du poids de 30 kilogrammes par mètre.

Le nouveau rail en acier de la Compagnie de l'Est a une longueur normale de 8 mètres. Les joints sont éclissés en porte à faux et sont croisés de $0^{m},60$, de manière à ne pas se correspondre d'une file à l'autre. L'expérience

a montré que cette disposition est favorable à la stabilité des traverses de contre-joint, à la régularité de la pose en courbe, et atténue les chocs dus à la solution de continuité et à la petite flexion qui en résulte. Le nombre des traverses, toutes intermédiaires puisque les joints sont en porte à faux, est de neuf par rail de 8 mètres. Le glissement longitudinal est arrêté par des cales en fer fixées aux traverses et butant contre les extrémités des éclisses; il n'est ainsi pratiqué aucune entaille dans la patte du rail, et l'on évite, de cette manière, l'affaiblissement considérable dont toute encoche est la cause pour les rails en acier.

Toutes ces dispositions sont figurées sur le dessin exposé auquel est joint un échantillon donnant le profil du rail.

Les longueurs de voies posées en rails de ce type s'élèvent maintenant à 75 kilomètres. Les commandes en cours d'exécution correspondent à un développement de voie de 740 kilomètres.

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DE PARIS À LYON ET À LA MÉDITERRANÉE.

1° MODÈLE PM.

Dès l'année 1867, la Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée s'était décidée à ne plus employer que des rails en acier au renouvellement de ses voies sur les 860 kilomètres de Paris à Marseille, où la fréquentation dépasse le chiffre de 10,000 trains par année, sur chaque voie, avec des vitesses qui peuvent atteindre jusqu'à 90 kilomètres à l'heure.

Au commencement de 1876, la longueur des portions renouvelées atteignait déjà 1,450 kilomètres de voie simple.

Disposition de la voie en rails modèle PM. — Le rail exposé (modèle PM) pèse 38^{kg},850 le mètre; sa section ne diffère de celle du rail en fer (modèle PLM), employé sur toutes les lignes nouvelles du réseau de la Méditerranée, que par l'épaisseur de l'âme réduite de 16 à 14 millimètres et par la largeur du patin portée de 100 à 130 millimètres.

Les formes du champignon et du patin ayant, dans l'un et l'autre type, même écartement et même inclinaison, se prêtent à l'emploi d'une seule et même éclisse.

La longueur normale du rail est de 6 mètres, et les rails sont posés dans la voie courante sur huit traverses intermédiaires avec les joints en porte à faux.

Éclissage. — Chaque joint est consolidé par deux éclisses en fer à quatre trous, reliées entre elles par quatre boulons à deux ergots, en fer, de 25 millimètres de diamètre. Une broche en fer enfilée dans une rainure que forme un évidement ménagé, d'une part, sur la partie médiane de l'éclisse, d'autre part, sous la face inférieure de l'écrou, empêche le desserrage de cet écrou.

Mode d'attache. — Le rail est fixé sur chaque traverse :

1° A l'intérieur de la voie, par une chevillette à deux becs, placée dans un trou percé dans le patin du rail, pour s'opposer au glissement du rail dans le sens de la voie, en même temps qu'au renversement;

2° A l'extérieur de la voie, par un crampon à un bec.

2° MODÈLE PLM-A.

Sur les autres lignes, moins fréquentées que celle de Paris à Marseille, la Compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée emploie, depuis 1872, un rail plus léger que le précédent.

Au commencement de 1876, la longueur de voies renouvelées ou construites avec ce second modèle atteignait 878 kilomètres de voie simple.

Disposition de la voie en rails PLM-A. — Le rail exposé (modèle PLM-A) pèse 33^{kg},30 le mètre. Son profil est celui du rail en fer (modèle PLM) dans les parties essentielles : largeur du patin, hauteur et largeur du champignon, position des joues d'éclissage, etc. Il n'en diffère que par l'épaisseur de l'âme réduite de 16 à 12 millimètres et par l'épaisseur du patin réduite de 2 millimètres et demi.

La longueur normale du rail est de 6 mètres, et les rails reposent soit directement, soit par l'intermédiaire d'une selle en acier, sur six, sept et même, dans certains cas, huit traverses. Les deux traverses qui se trouvent de part et d'autre du joint sont toujours munies de selles.

Éclissage. — Chaque joint est consolidé par deux éclisses en fer à quatre trous, reliées entre elles par quatre boulons.

L'une des éclisses est du même modèle que celle employée dans la voie PM; la seconde, que l'on désigne sous le nom d'éclisse-arrêt, se prolonge jusqu'au-dessous du plan du patin du rail, de façon à venir buter par bout contre les selles posées sur les traverses de contre-joint

et à s'opposer ainsi au mouvement de translation du rail. Les boulons d'éclisses et la broche en fer qui empêche le desserrage de l'écrou sont les mêmes que dans la voie PM.

Mode d'attache. — Le rail est fixé sur chaque traverse au moyen de deux tire-fonds placés sur le bord du patin du rail. Le patin du rail n'est ni percé ni encoché.

Fabrication. — Les rails PM et PLM-A sont fabriqués dans les usines du Creusot, de Terre-Noire et Bességes, de Firminy, de Saint-Étienne, d'Imphy et de Commentry, soit en acier Bessemer, soit en acier Martin.

Quel que soit le mode de fabrication, les rails résistent facilement aux conditions d'épreuves ci-après résumées; les résultats des épreuves ne diffèrent pas sensiblement d'une usine à l'autre; cependant, dans certaines usines, l'acier Martin paraît un peu plus dur que l'acier Bessemer, et dans d'autres, au contraire, l'avantage est à l'acier Bessemer.

Épreuves pour la réception. — Un pour cent des rails fabriqués sont soumis, lors de la réception dans les usines, aux épreuves suivantes :

1° Chaque barre placée de champ sur deux points d'appui espacés d'un mètre doit supporter pendant cinq minutes, au milieu de l'intervalle des points d'appui, une pression de 25 tonnes pour le rail PLM-A et 30 tonnes pour le rail PM, sans conserver de flèche sensible après l'épreuve.

2° La même barre, dans la même position, doit supporter pendant cinq minutes, sans se rompre, une charge de 35 tonnes pour le rail PLM-A et 40 tonnes pour le rail PM; on augmente ensuite la pression jusqu'à rupture.

3° Chacune des moitiés de la barre, placée sur deux points d'appui espacés de $1^m,10$, doit supporter, sans se rompre, le choc d'un mouton de 300 kilogrammes tombant librement de $1^m,70$ de hauteur pour le rail PLM-A et de 2 mètres pour le rail PM, au milieu de l'intervalle des appuis, et sans conserver après cette épreuve une flèche permanente supérieure à 8 millimètres.

4° Une rognure franche de 70 centimètres de longueur est choisie dans chaque coulée : elle doit supporter sans se rompre, étant placée sur deux appuis espacés de 50 centimètres, le choc d'un mouton de 300 kilogrammes tombant librement de $1^m,30$ de hauteur pour le rail PLM-A et de $1^m,50$ pour le rail PM.

Résultats obtenus avec l'acier. — L'expérience accuse jusqu'à ce jour les résultats suivants :

L'usure des rails en acier se poursuit d'une façon très-régulière et proportionnellement à la fatigue accumulée, c'est-à-dire au nombre de trains ayant parcouru les voies.

En moyenne, nous croyons qu'on peut évaluer cette usure à 1 millimètre pour 50,000 trains.

Comme le champignon des rails PM et PLM-A peut, sans être trop affaibli, être recoupé, ou s'user uniformément de 10 millimètres et plus, on est en droit de supposer qu'il faudra le passage de 500,000 trains pour mettre les rails en acier hors de service.

Pour faire la part des accidents et des chances d'erreur, si l'on admet seulement 400,000 trains comme chiffre limite, et si, d'autre part, on considère que la durée moyenne des rails en fer correspond, dans les mêmes conditions, au passage de 80,000 trains, on arrive à cette

conclusion que les rails en acier peuvent être considérés comme devant durer au moins cinq fois autant que ceux en fer.

Rails brisés. — La moyenne des rails brisés en service et qu'il a fallu retirer des voies est de un rail par 15 kilomètres de voie et par année. Les ruptures s'étant produites, pour la plupart, dès les premiers jours de l'emploi du rail, doivent être attribuées le plus souvent à un défaut de fabrication. Quand ils ont résisté quelques mois, les rails en acier peuvent être considérés comme étant à l'abri de tout accident : on peut dire qu'ils ne cassent plus.

Prix de revient. — Au cours actuel des métaux (février 1876), le kilomètre de voie simple en acier (partie métallique) coûte :

1° VOIE MODÈLE PM.

77,700 kilogrammes de rails à 240 francs la tonne...	18,648f 00c
666 éclisses (poids 5kg,30) à 190 francs la tonne....	670 66
1,332 boulons (poids 0kg,70) à 350 francs la tonne..	326 34
2,664 chevillettes (poids 0kg,41) à 340 francs la tonne.	371 36
2,664 crampons (poids 0kg,39) à 340 francs la tonne..	353 25
Total.....	20,369f 61c

2° VOIE MODÈLE PLM-A.

66,600 kilogrammes de rails à 240 francs la tonne...	15,984f 00c
333 éclisses PM (poids 5kg,30) à 190 francs la tonne.	335 33
333 éclisses-arrêt (poids 7kg,58) à 200 francs la tonne.	504 83
1,332 boulons (poids 0kg,70) à 350 francs la tonne..	326 34
999 selles en acier (poids 1kg,83) à 260 francs la tonne.	475 32
3,996 tire-fonds (poids 0kg,36) à 420 francs la tonne..	604 20
Total.....	18,230f 02c

Les échantillons exposés, au nombre de quatre, proviennent des usines désignées d'autre part.

Nota. Voir, pour le détail, les étiquettes que porte chacune des barres.

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI.

La Compagnie du Midi emploie, sur les sections les plus fréquentées de son réseau, les rails en acier.

Ces rails, fabriqués soit par le procédé Bessemer, soit par le procédé Martin, sont fournis par les diverses usines françaises qui ont monté les appareils nécessaires à ces systèmes de fabrication, savoir : Imphy, le Creusot, Terre-Noire, Firminy et Commentry.

Sauf de rares exceptions, les rails en acier, employés sur le réseau du Midi, sont tous du système à double champignon, et leur forme ne diffère pas de celle en usage pour les rails ordinaires.

Longueur normale des rails	$5^{m},50$
Un dixième dans les fournitures	$5^{m},46$
Écartement des traverses de contre-joint	$0^{m},60$
Écartement des traverses intermédiaires	$0^{m},98$
Rail en acier Martin provenant des usines de la Société anonyme des forges et aciéries de Firminy. — Fabrication de 1872	$38^{kg},000$
(La compagnie a, en outre, employé des rails de même profil en acier Bessemer provenant des usines de Terre-Noire et de Bessèges.)	
Coussinets provenant de l'usine de Marquise (Pas-de-Calais). — Fabrication de 1869. — Poids d'un coussinet	$10^{kg},200$
Chevillettes fabriquées à l'usine Dervaux, à Vieux-Condé (Nord), en 1872. — Poids d'une chevillette	$0^{kg},440$
Coins fournis par M. Bastiat, de Dax (Landes). — Fabrication de 1872. — Poids d'un coin	$0^{kg},900$

Éclisses provenant de l'usine d'Alais. — Fabrication de 1873. — Poids de la paire..... $9^{kg},100$

Boulons d'éclisses, fabriqués par l'usine de M. Vankalck, près Valenciennes, en 1873. — Poids d'un boulon... $0^{kg},445$

Rail Brunel creux en acier Bessemer pour plaque tournante, provenant de l'usine de Terre-Noire (Loire). — Fabrication de 1870. — Poids du mètre courant..... $34^{kg},500$

Longueur posée au 31 décembre 1874 : $73,556^{m}$.

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER D'ORLÉANS.

La Compagnie d'Orléans emploie, sur les sections les plus fréquentées de son réseau, des rails en acier.

Ces rails, fabriqués soit par le procédé Bessemer, soit par le procédé Martin, sont fournis par les diverses usines françaises qui ont monté les appareils nécessaires à ces systèmes de fabrication, savoir : Imphy, le Creusot, Terre-Noire, Firminy et Commentry.

Sauf de rares exceptions, les rails en acier, employés sur le réseau d'Orléans, sont tous du système à double champignon et leur forme ne diffère pas de celle en usage pour les rails ordinaires.

Le poids du rail, par mètre linéaire, qui est de 36 kilogrammes pour les rails en fer, est un peu supérieur pour les rails en acier, à cause de la différence de densité des deux métaux, et peut être évalué moyennement à 37 kilogrammes.

Les rails ont $5^{m},50$ de longueur; ils sont éclissés en porte à faux et reposent, par l'intermédiaire de coussinets en fonte, sur six traverses en chêne : ce qui donne un espacement moyen de traverses de $\frac{5^{m},50}{6} = 916$ millimètres.

Le coussinet pèse $9^{kg},50$ et présente une surface de base de 324 centimètres carrés.

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DE L'OUEST.

La Compagnie de l'Ouest emploie des rails en acier sur les lignes de son réseau où la circulation est la plus importante. Les rails employés jusqu'à ce jour ont été fournis par les usines françaises, savoir : Niederbronn, Imphy, le Creusot, Terre-Noire, Firminy et Commentry; ils ont été fabriqués d'après les procédés Bessemer et Martin; une petite quantité, à l'origine, a été fabriquée avec de l'acier fondu au creuset.

La longueur de voie simple posée avec des rails en acier s'élevait, à la fin de 1875, à 500 kilomètres.

A l'exception des rails Vignoles employés sur les grands ouvrages métalliques, les rails en acier sont du type à double champignon et ont le même profil que les rails en fer.

Leur poids moyen est de $38^{kg},75$ par mètre courant, soit 1 kilogramme de plus que les rails en fer qui pèsent $37^{kg},75$.

Les rails ont 6 mètres de longueur et sont éclissés en porte à faux; les éclisses employées avec les rails en acier sont également en acier.

Les rails reposent avec intermédiaire de coussinets en fonte, sur huit traverses, par longueur de 6 mètres. La division des portées est indiquée comme suit :

Le premier coussinet est placé à $0^{m},30$ de l'extrémité du rail;

Le second coussinet est placé à $0^{m},70$ du premier;

Et tous les autres sont placés à $0^{m},80$ les uns des autres, d'axe en axe.

Les coussinets en fonte pèsent 15 kilogrammes et présentent une surface de base de 482 centimètres carrés.

L'attache des coussinets se fait au moyen de deux tire-fonds dans les parties de voies en ligne droite; dans les parties en courbe, cette attache se fait au moyen de trois tire-fonds pour la file de rails qui se trouve sur le grand rayon; de là, deux modèles différents de coussinets.

Dans le cours de l'année 1874, l'emploi d'un rail Vignoles, pesant environ 30 kilogrammes le mètre courant, a été décidé pour les lignes nouvelles à construire. Le modèle adopté est conforme au type du chemin de fer du Nord, sauf toutefois pour les dispositions relatives à l'éclissage, ce dernier devant se faire en porte à faux, et non sur une traverse de joint.

Des commandes assez considérables, représentant plus de 500 kilomètres, ont été faites, et sont livrables en plusieurs années pour être affectées à des lignes actuellement en cours d'exécution.

XV

COLLECTION DE TYPES LITHOGRAPHIÉS

DU MATÉRIEL FIXE ET DU MATÉRIEL ROULANT

ADOPTÉS

PAR LES PRINCIPALES COMPAGNIES DE CHEMINS DE FER FRANÇAIS.

Portefeuilles de dessins.

Les grandes compagnies de chemins de fer avaient exposé en 1867 la réunion des types les plus usités de leur matériel fixe et de leur matériel roulant.

Cette collection, tenue chaque jour au courant des modifications apportées par l'expérience, constitue un recueil usuel de dessins lithographiés qui ont le mérite de donner exactement l'état actuel du matériel des principales compagnies.

On a pensé qu'il y aurait intérêt à faire connaître ainsi les changements survenus depuis neuf années, et à appeler l'attention des hommes spéciaux sur les améliorations nécessitées par le développement du réseau français.

Sans entrer dans la description détaillée des nombreux dessins de la collection exposée, on se bornera dans la présente notice à indiquer les principales particularités du matériel fixe et du matériel roulant des chemins de fer français.

MATÉRIEL FIXE.

§ I. — Voie.

Limite des courbes et des déclivités. — Lorsque les chemins de fer ont été établis en Amérique, on a trouvé un pays neuf pour ainsi dire, et presque dépourvu de voies de communication. Il n'en a pas été de même en France, où le rôle de ce nouveau mode de transport a été surtout de réaliser, par rapport aux routes de terre, d'un côté, de la vitesse pour les voyageurs, de l'autre côté, une grande économie pour les marchandises. Les lignes ferrées se sont donc installées dès le début, à l'imitation des lignes anglaises, avec de faibles déclivités et des courbes de grand rayon; ce n'est que beaucoup plus tard, et pour diminuer les dépenses dans les pays accidentés, que l'on s'est départi des limites précédemment posées; néanmoins, des courbes de 300 mètres et des inclinaisons de 30 à 35 millimètres sont des conditions extrêmes qui ne se rencontrent que par exception.

Bonnes conditions d'établissement de la voie. — La voie des chemins de fer français présente un caractère robuste, dont on a reconnu à la fois la nécessité et les avantages de très-bonne heure : en effet, dès 1847, les rails de 27 kilogrammes étaient remplacés par des rails pesant de 35 à 37 kilogrammes le mètre courant, et les cahiers des charges des lignes principales concédées depuis cette époque ont toujours prescrit des rails de plus de 35 kilogrammes par mètre. L'espacement moyen des points d'appui a été pendant longtemps de 1 mètre, c'est-à-dire que l'on compte en moyenne une traverse par mètre courant;

mais, pour les lignes très-fréquentées, l'espacement des traverses a été notablement réduit, comme on peut le voir en lisant les notices qui se rapportent aux voies récentes en rails en acier. L'ensemble de la voie repose sur une couche de bon ballast, dont l'épaisseur, prise au-dessous de la face inférieure des traverses, est généralement de 30 centimètres.

§ II. — Croisements, signaux et accessoires de la voie.

Croisements et changements de voie. — Les aiguilles des changements de voie sont presque toujours du modèle anglais dit *système Wild*, dans lequel la lame de l'aiguille, diminuant de hauteur, se termine en pointe et s'efface sous le rail.

Toutes les pièces se font maintenant en acier. Il existe une tendance marquée à supprimer les châssis ou longrines en bois pour la pose des croisements, en les remplaçant par une pose sur traverse se rapprochant aussi près que possible de la pose de la voie courante.

Les transmissions à distance, pour la manœuvre des aiguilles, sont à l'état d'essai sur quelques lignes.

Plaques tournantes et chariots de manœuvre. — Les plaques ordinaires pour wagons se font généralement en fonte : les grandes plaques de 10 à 14 mètres de longueur, dites aussi plus justement *ponts tournants*, pour locomotives attelées avec leur tender, se composent généralement de deux poutres en tôle. Elles sont aussi le plus souvent mues par de petites locomobiles à vapeur de 2 à 6 chevaux de force.

Les *ponts roulants* ou chariots de manœuvre, destinés à remiser les machines dans les dépôts et ateliers, sont aussi bien souvent munis de petites machines, et des chariots à vapeur sont également à l'étude pour le service de certaines grandes gares à marchandises.

Alimentation d'eau, grues-réservoirs. — Les alimentations d'eau se faisaient autrefois avec des machines dont les chaudières étaient fixes, c'est-à-dire emprisonnées dans des massifs en maçonnerie. On a trouvé avantage à adopter pour cet usage une chaudière demi-fixe, ou locomobile, supportant le mécanisme et pouvant être facilement changée, puis transportée dans un atelier pour les réparations importantes. Le chemin de fer du Nord se sert même de locomobiles ordinaires montées sur roues, et commandant les pompes au moyen de courroies.

Les grues hydrauliques ordinaires ont un débit insuffisant pour remplir les grands tenders pendant le court temps d'arrêt d'un train express. La Compagnie du Nord a depuis longtemps imaginé de mettre à la place de la grue un petit réservoir de 6 à 7 mètres cubes, communiquant avec le grand réservoir, et se vidant très-rapidement. Cet exemple a été imité par d'autres lignes, et notamment par la Compagnie de l'Ouest dont les grues-réservoirs, montées sur colonnes en fonte, méritent d'être citées.

Signaux de protection des gares. — Les règlements administratifs prescrivent l'emploi de signaux de protection à toutes les stations. Ceux-ci sont le plus souvent des disques ronds en tôle pivotant autour d'un axe en fer, de manière à présenter à volonté une face rouge commandant l'arrêt des trains. Ces disques sont manœuvrés à des dis-

tances de 1,000 à 1,500 mètres au moyen de fils de fer et de leviers. La difficulté la plus considérable à vaincre était de se soustraire aux différences de longueur que prend le fil par suite de la dilatation. Ce problème a été résolu d'une façon satisfaisante par divers moyens indiqués sur les dessins remis par les compagnies; l'une des dispositions qui tend à se répandre le plus est la manœuvre avec contre-poids intermédiaire, *système Robert*, très-usitée sur le chemin de fer du Nord.

Les disques à distance, qui ne sont pas visibles du point de manœuvre, sont le plus souvent munis de sonneries (dites *trembleuses*) électriques chargées d'annoncer le bon fonctionnement.

Le chemin de Lyon emploie des sémaphores placés à l'intérieur des gares et sur plusieurs points de la ligne pour distancer les trains. Le chemin d'Orléans se sert, pour le même objet, d'un disque rond spécial.

Des signaux de couleur jaune sont employés dans certains cas pour les voies ou pour les trains de marchandises.

Dans l'intérieur des grandes gares, il devient souvent nécessaire de faire communiquer les divers postes d'aiguilleurs, et, pour cela, on emploie soit des appareils électriques, soit le plus souvent de petits disques de forme variée manœuvrés par des fils, mais n'ayant aucune signification pour le mécanicien.

Au point de vue de la construction des appareils, on doit signaler le remplacement des montants, châssis et autres parties en bois, par des pièces en fonte ou en fer.

Signaux aux bifurcations. — Les bifurcations sont protégées dans toutes leurs directions par des signaux dont la manœuvre est combinée de manière à éviter les collisions. La Compagnie du Nord, par exemple, met en avant du point de jonction un signal spécial carré indicateur, écartelé vert et blanc, prescrivant le ralentissement au mécanicien. En outre, à 100 mètres du point de croisement se trouve un signal carré rouge dit d'*arrêt absolu*, muni d'un pétard.

Le chemin de fer de Lyon signale l'approche d'une bifurcation par un transparent; une plaque portant le mot *arrêt* indique le point qu'il ne faut pas dépasser, lorsque la voie n'est pas libre. Ce dernier signal est donné du poste de bifurcation par deux sémaphores inégaux dont le plus grand se rapporte à la ligne principale, et l'autre à l'embranchement.

Pour différencier, la nuit, le signal d'arrêt absolu du feu rouge du simple disque de couverture, la Compagnie de l'Ouest se sert d'une lanterne dans laquelle une seule lampe donne *deux feux rouges* au moyen de réflecteurs convenablement disposés.

Enclenchements des aiguilles et des signaux. — L'un des ingénieurs de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, M. Vignier, a proposé, dès 1854, de relier les leviers des aiguilles aux leviers de manœuvre des signaux. Des tringles en fer mues par les leviers eux-mêmes sont munies soit d'encoches, soit de pitons, combinés de manière à *enclencher* les uns avec les autres. De la sorte, une aiguille de bifurcation ne peut être faite et un train ne peut couper une voie, sans que le signal convenable ait été fait. Les

enclenchements sont encore à recommander dans le cas de signaux protégeant des ponts tournants.

Ce système a été appliqué, pour la première fois, à la bifurcation dite *de Viroflay*, près Versailles, et son emploi, devenu général sur le chemin de fer de l'Ouest, tend à se développer en France. Il a été adapté, ces dernières années, aux usages des chemins de fer anglais, notamment par les célèbres constructeurs Saxby et Farmer.

Cantonnement des trains. — Sur les lignes très-fréquentées, il y a grand avantage à mettre entre les trains un intervalle d'espace au lieu d'un intervalle de temps. Pour cela, il faut sectionner la ligne en un certain nombre de *cantonnements*, dans lesquels on admet un seul train, deux tout au plus : c'est le *bloc-system* des Anglais, lequel augmente à la fois la capacité du trafic et la sécurité de l'exploitation des chemins à double voie.

Le cantonnement est pratiqué en France sur plusieurs sections. La Compagnie de Lyon se sert à cet effet des signaux à distance de ses gares, en leur adjoignant l'appareil anglais Tyer. La Compagnie de l'Ouest a des postes munis de signaux avancés et de petits signaux d'arrêt absolu : les appareils électriques qu'elle emploie sont dus à M. Regnault, l'un des agents principaux de l'exploitation.

Le chemin de fer du Nord a installé sur 50 kilomètres, entre Paris et Creil, les sémaphores de M. Lartigue, inspecteur du service télégraphique. Dans ce système, un seul et même mouvement du levier fait le signal du poste, commande, par l'électricité, le signal du poste précédent et donne, en outre, les indications convenables au poste vers lequel se dirige le train.

Appareil avertisseur en temps de brouillard. — Les mécaniciens ne voient pas les signaux de loin pendant le brouillard, et, pour remédier à cet inconvénient, le chemin de fer du Nord a mis en essai un système dû à MM. Lartigue et Foret. Une plaque métallique, de 4 à 5 mètres de longueur, est mise entre les rails, à quelques centaines de mètres en avant du signal, et se trouve reliée à ce dernier par un fil électrique. Une forte brosse en fil métallique est placée sur la locomotive, de manière à venir frotter sur la plaque fixe. Lorsque le disque est fermé, la brosse subit l'influence de l'électricité et agit par l'intermédiaire d'un électro-aimant sur la clef d'un petit sifflet à vapeur spécial. Le mécanicien doit alors prendre immédiatement ses dispositions pour arrêter.

MATÉRIEL ROULANT.

§ I. — Appropriation du matériel roulant à la nature des lignes et du trafic à desservir.

On s'est étendu plus haut sur les conditions générales d'établissement des chemins de fer, afin de montrer qu'il existe une concordance parfaite entre la voie et le matériel roulant.

Les véhicules sont du type dit *anglais*, c'est-à-dire à deux ou trois essieux rigides, lesquels ne sauraient passer à de très-grandes vitesses dans des courbes de faible rayon; par contre, ce système a présenté jusqu'à ce jour, au point de vue de l'économie de l'exploitation, l'avantage du plus grand effet utile, c'est-à-dire du plus faible poids mort relativement à la charge transportée.

Nature et vitesse des trains. — L'état des canaux en

France et l'aménagement même du réseau des voies navigables laissent encore aux chemins de fer le transport d'une large proportion soit de matières pesantes, soit de produits agricoles : charbons, minerais, pierres, fontes, fers, vins, blés, etc. Les trains de marchandises sont en général lourds et marchent à la faible vitesse de 25 kilomètres à l'heure en moyenne (arrêts non compris). Les trains de bétail marchent le plus souvent à 30 kilomètres à l'heure.

L'expédition de la marchandise en grande vitesse, ou *messagerie*, se fait par les trains ordinaires de voyageurs, omnibus ou directs, dont la vitesse de marche (arrêts non compris) est de 40 à 50 kilomètres à l'heure.

Enfin, les trains rapides ou express atteignent en pleine marche des vitesses normales de 60 à 75 kilomètres à l'heure, suivant l'importance des directions.

Les embranchements peu fréquentés sont le plus souvent desservis par des trains mixtes emportant à la fois marchandises et voyageurs, avec une vitesse de 35 à 45 kilomètres à l'heure.

Composition des trains de voyageurs. — Tous les ingénieurs savent que les chemins de fer européens admettent trois classes de voitures de voyageurs. En France, les trains omnibus ou directs sont composés de voitures de toutes classes. Les trains express étaient à l'origine exclusivement composés de voitures de 1re classe; mais il existe en ce moment une tendance à l'addition de voitures de 2e et même de 3e classe pour de longues distances. Cette introduction est déjà un fait accompli pour certaines lignes ou certains trains.

Ayant, par ce qui précède, indiqué les principales conditions d'établissement et d'exploitation des chemins de fer français, on va maintenant procéder à la description du matériel roulant destiné à desservir ces lignes.

§ II. — Voitures et wagons.

Avantages du matériel français comme rapport favorable entre le poids mort et la charge utile. — Le matériel français est, de tous ceux construits sur le type anglais, celui qui présente la meilleure utilisation; on a réuni, dans un tableau placé à la fin de ce chapitre, quelques exemples facilitant les comparaisons.

Le faible rapport entre le poids mort et la charge utile n'est pas dû seulement à l'entente de la bonne construction, mais il tient encore à une judicieuse appréciation de la limite de charge. Dès 1852, le chemin de fer du Nord, qui avait à faire des trains directs de charbon entre la Belgique et Paris, sur plus de 300 kilomètres de longueur, remplaçait les wagons de houille chargeant 6 tonnes, par des wagons d'une contenance de 10 tonnes, et le poids mort, par chaque tonne de poids utile, descendait de 550 kilogrammes à 400 kilogrammes; on construisait également pour le même service des locomotives à six roues accouplées, pesant 32 tonnes $\frac{1}{2}$, et remorquant, à des vitesses de 24 kilomètres à l'heure, des trains de 420 tonnes brutes sur des lignes présentant quelques déclivités de 5 millimètres par mètre. Aujourd'hui, ces trains pèsent 630 tonnes et sont remorqués par des locomotives à huit roues accouplées, pesant de 40 à 44 tonnes. Diverses circonstances d'exploitation et de manutention dans les

voies des mines ou des gares ont fait jusqu'à ce jour conserver cette limite de chargement de 10 tonnes; mais tout fait pressentir une certaine tendance à élever la limite à 12 ou 15 tonnes, sans augmenter le nombre des essieux, lorsque les voies des principales directions auront été entièrement renouvelées en rails en acier.

Voitures des trains de voyageurs. — Les voitures à voyageurs sont toutes à quatre roues, sauf sur les lignes principales de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, où ces véhicules ont six roues.

On a eu occasion plus haut de rappeler qu'il y avait trois classes de voitures.

La 1re classe comprend huit places par compartiment, la 2e classe et la 3e classe comportent dix places. Les banquettes de la 3e classe ne sont pas rembourrées et le dossier s'élève plus ou moins haut, sans atteindre le plafond de la voiture, excepté pour les compartiments réservés aux dames seules.

Le plus souvent, les voitures de 1re classe se composent de trois compartiments, celles de 2e classe de quatre, et celles de 3e classe de cinq compartiments; on a cherché à ne pas exagérer la longueur de la voiture relativement à l'écartement des essieux, afin d'obtenir, à grande vitesse, plus de stabilité pour les véhicules.

L'écartement des essieux s'est trouvé lui-même limité, non pas d'après le rayon des courbes, mais par les dimensions des plaques tournantes, dont l'usage est général pour la formation des trains dans les gares. La distance des essieux s'élève à $4^m,10$ et 4 mètres sur les

Compagnies de Lyon, du Nord et du Midi, et est en moyenne de 3^{m},60 pour les autres lignes. Il s'opère en ce moment une réaction contre l'assujettissement dérivé des plaques, et l'on étudie la mise en application des moyens permettant de s'en affranchir, au moins pour les trains allant à de grandes distances sans se décomposer.

L'attelage des véhicules se fait au moyen de *tendeurs à vis* agissant sur des ressorts, qui rapprochent au contact les *tampons* dont sont munies les extrémités des voitures, et les serrent fortement de manière à éviter le mouvement de lacet. Deux *chaînes* dites *de sûreté* complètent l'attelage, qui est *uniforme pour tous les véhicules.*

La caisse de la voiture repose sur un châssis dont les brancards se font assez souvent en fer. La Compagnie de Lyon construit même en fer le châssis tout entier.

Les essieux se font en fer, plus rarement en acier doux; les roues sont de trois sortes : 1° roues en fer avec moyeu en fonte; 2° roues entièrement en fer forgé (type Arbel); 3° roues en fer laminé sous forme de disque plein, afin de ne pas soulever la poussière. Les roues en fonte ne sont pas usitées.

Les bandages sont en fer ou en acier doux.

Le graissage se fait, en général, au moyen de boîtes à huile.

En dehors des dispositions générales de voitures dont on a déjà parlé, il faut citer diverses combinaisons répondant à des besoins particuliers, par exemple :

(A) *Wagons de 1re classe* munis de coupés ou de compartiments pouvant se transformer en lits pendant la nuit;

(B) *Wagons-dortoirs* (dits *du système Mann*) où l'on a essayé d'installer, sur quatre roues, une réduction des *sleeping-cars* américains;

(C) *Wagons à impériale,* fermée ou non, pour le service des lignes de la banlieue de Paris ou de divers embranchements;

(D) *Wagons* comprenant des compartiments de plusieurs classes pour le service des petits embranchements;

(E) *Voitures avec un couloir médian ou latéral,* adoptées sur des lignes secondaires, dans le but de faciliter le contrôle et même la délivrance des billets pendant la route;

(F) *Wagons spéciaux* pour le service de la poste.

Certains véhicules entrent dans la composition des trains de voyageurs et marchent habituellement à la même vitesse. Nous citerons les *fourgons à bagages* où se tient le conducteur de train, et les *wagons-écuries* pour le transport des chevaux de luxe, contenant de trois à sept de ces animaux.

L'établissement d'une *communication entre les agents des trains et les voyageurs* n'a pas reçu jusqu'à ce jour de solution définitive. Des essais, dont les résultats paraissent satisfaisants, se poursuivent sur le chemin de fer du Nord avec la communication électrique disposée suivant un *système* dit *Prudhomme*.

Wagons à marchandises. — Les conditions générales d'attelage, de châssis, de roues, etc., sont les mêmes que pour les voitures à voyageurs. Il existe trois types principaux de wagons à marchandises, savoir :

(I) *Wagons couverts,* munis de fenêtres, fermées le plus souvent au moyen de volets en tôle. Leur limite de chargement varie de 8 à 10 tonnes suivant le trafic des lignes qu'ils desservent;

(II) *Wagons-tombereaux,* ou à bords de $0^m,80$ à $1^m,20$ de hauteur, destinés au transport des houilles, minerais, etc. La limite de chargement est de 10 tonnes;

(III) *Wagons plates-formes,* quelquefois sans aucun bord, mais le plus souvent avec un bord de $0^m,30$, mobile autour d'une charnière, et pouvant se rabattre à volonté; la limite du chargement est de 10 tonnes en général. Ces wagons sont munis de cordes (dites *prolonges*) pour attacher les objets transportés, et quelquefois de bâches pour les couvrir. Un certain nombre de wagons plats sont disposés pour le transport des bois de grande longueur, et sont pour cela munis d'une pièce de bois transversale tournant sur un pivot fixé au centre du wagon; les extrémités des bois reposent sur cette traverse, et des barres de fer verticales les retiennent.

Freins. — L'adoption de deux essieux seulement par véhicule se prête à l'établissement de freins très-simples. Les améliorations les plus récentes tendent à accélérer le serrage, tant par suite de proportions bien étudiées entre la vis et les divers leviers, que par suite de l'emploi d'un appareil limite du desserrage. Sous ces divers rapports, on attirera l'attention sur les *freins du système Stilmant* (voitures des Charentes ou autres) ou sur les freins des véhicules à voyageurs et à marchandises de la Compagnie de l'Ouest. Il faut également noter les *freins à contre-poids du système Bricogne,* en usage au chemin de fer du Nord;

le contre-poids accélère le serrage des sabots; en outre, le frein du fourgon, placé près de la machine, peut être déclenché par le mécanicien. Le contre-poids et le déclenchement ont été également appliqués par M. Bricogne à des freins continus du système Newall, qui est ainsi devenu pratique, et permet à un homme d'agir sur un groupe de trois véhicules.

§ III. — Locomotives.

Les conditions d'établissement de la voie ne nécessitent pas l'emploi du *bogie* ou avant-train mobile, lequel ne se rencontre sur aucune machine en France. La plupart des locomotives ont six roues placées sous le corps cylindrique de la chaudière. Le foyer est le plus souvent en porte à faux, la nature des combustibles employés ne nécessitant que des grilles d'une surface variant de 1 mètre carré à $1^{mq},60$; toutefois, la Compagnie du chemin de fer du Nord, voisine de la Belgique, et voulant brûler de la houille presque menue, construit depuis quelques années des grilles de $1^{mq},50$ à $2^{mq},50$ de surface; dans ce cas, le foyer est situé au-dessus du dernier essieu de la machine. Le combustible consommé est toujours de la houille, très-rarement du coke; toutes les compagnies brûlent maintenant des *agglomérés*, c'est-à-dire des menus mélangés avec du brai et fortement comprimés à la presse, sous forme de briquettes.

Locomotives à roues libres. — Ces machines ont été très-usitées pour le service des trains de grande vitesse et sont divisées, à peu près en nombre égal, en deux types principaux, savoir :

(I) Les machines du système Crampton (Nord, Est, Lyon), où la grande roue motrice, d'un diamètre de $2^m,10$ à $2^m,30$, est placée à l'arrière du foyer;

(II) Les machines du modèle Stephenson, où la roue motrice est au milieu, la troisième paire de roues étant derrière le foyer. On trouve sur ce modèle des machines à cylindres intérieurs (Lyon) et des machines à cylindres extérieurs, dont les unes ont un bâti complétement intérieur (Est, Midi, Orléans) et les autres un bâti double (Orléans, Ouest, Nord).

Locomotives à quatre roues accouplées. — Ce genre de machines, réservé d'abord pour les trains omnibus, a fini par être adopté pour les trains express. Toutes sortes de modèles sont en service. Il en existe où les roues d'accouplement sont à l'avant; mais généralement on préfère mettre à cette place une paire de roues porteuses pour diriger la machine. Les chemins de fer d'Orléans et de Lyon ont, sur leurs lignes principales, des machines-express à cylindres extérieurs, pour lesquelles un quatrième essieu, muni de roues porteuses, est placé derrière le foyer et assure la complète stabilité de la locomotive. Les Compagnies du Nord et de l'Ouest préfèrent les machines à cylindres intérieurs.

Locomotives à six roues accouplées. — Elles se font presque toujours aujourd'hui avec des cylindres extérieurs, et pèsent jusqu'à 36 tonnes $\frac{1}{2}$, en service. Quelques machines légères, de 30 tonnes environ, se construisent encore et sont employées pour les trains mixtes sur les lignes d'embranchement; toutefois, certaines lignes sont tellement accidentées, bien que formant des sections de

directions principales, que les trains ordinaires de voyageurs doivent y être remorqués par des machines puissantes. C'est pour de tels services que les Compagnies du Midi et d'Orléans ont fait établir des locomotives pesant de 34 à 36 tonnes, montées sur six roues accouplées, de $1^{m},60$ de diamètre.

La plupart des machines-tender, destinées au service de la composition et de la décomposition des trains de marchandises dans les gares, ont six roues accouplées. Ce genre de locomotives, exécuté sur des dimensions restreintes, est le plus en usage pour toutes les lignes secondaires.

Locomotives à huit roues accouplées. — Ces machines se trouvent sur toutes les grandes lignes, excepté sur la Compagnie de l'Ouest. Elles sont employées sur la Compagnie du Nord à remorquer de lourds trains, parcourant à charge complète de grandes distances; sur les chemins d'Orléans et de Lyon, elles sont réservées au service des sections accidentées; enfin, sur l'Est et le Midi, elles servent aux deux usages. Toutes ont leurs cylindres et leur mécanisme à l'extérieur.

Locomotives spéciales. — La Compagnie d'Orléans a fait construire pour une ligne de montagnes, avec pentes de 35 millimètres, dans le Cantal, des locomotives-tender à dix roues accouplées, pesant 60 tonnes en charge; un spécimen figurait à l'exposition de 1867.

Dans un autre ordre d'idées, citons les machines *système Meyer* du chemin de fer de l'Hérault. La voie est formée de rails de 25 kilogrammes par mètre courant, et comporte des déclivités de 25 millimètres, ainsi que des

courbes de 200 mètres de rayon. Ces locomotives, pesant 50 tonnes (y compris les approvisionnements), sont composées d'une chaudière unique, laquelle repose sur deux trucks présentant chacun une paire de cylindres et trois essieux accouplés.

Généralités sur les parties constitutives de la locomotive. — Les bâtis intérieurs, avec cylindres et mécanisme extérieurs, se rencontrent en grande majorité.

Les bâtis sont composés de longerons en tôle, laminés d'une seule pièce.

Les roues sont toujours en fer forgé, le plus souvent avec des bandages en acier. L'emploi de ce dernier métal est très-répandu pour beaucoup de pièces.

L'usage de balanciers pour les ressorts de suspension commence seulement à s'introduire sur quelques lignes.

Les chaudières sont construites en tôle de fer, avec foyer en cuivre rouge, et tubes en laiton; il a été fait quelques chaudières en tôle d'acier fondu, à titre d'essai. Toutes les chaudières sont soumises, avant leur mise en service, à un essai à la presse hydraulique fait en présence d'un agent de l'Administration supérieure. Cette épreuve est renouvelée toutes les fois que la chaudière a subi des réparations importantes.

L'Administration prescrit également l'adoption de certaines mesures et précautions de sécurité; telles sont, par exemple, une grille pour arrêter les flammèches dans la boîte à fumée, un cendrier destiné à empêcher les escarbilles de se répandre latéralement à la voie en causant des incendies, un niveau d'eau en cristal, des robinets indiquant la hauteur de l'eau, deux soupapes de sûreté.

L'emploi d'un échappement variable, à valves, est général, ainsi que le remplacement de l'une ou même des deux pompes par des injecteurs du système Giffard.

Fumivorité des foyers. — Au début de l'emploi de la houille crue dans les locomotives, vers 1855, diverses dispositions spéciales ont été appliquées en vue de la fumivorité. Mais l'expérience acquise par les chauffeurs, et le choix de combustibles convenables, rendent le plus souvent aujourd'hui ces dispositions superflues. On trouve encore, sur les chemins de l'Est et d'Orléans, quelques foyers du système Tinbrinck. L'air frais introduit dans le foyer rencontre un bouilleur incliné et se mélange avec les gaz chauds. Au chemin de fer de Lyon, une série de petits jets de vapeur opèrent le brassage des gaz ; ils partent d'un tuyau situé à l'intérieur des foyers, au-dessus de la porte de chargement, suivant une combinaison brevetée due à M. Thierry.

Changement de marche à vis et frein à contre-vapeur. — Dans ces dernières années, les leviers opérant le changement de la marche ont été remplacés par des vis mues au moyen de volant; cette disposition, qui permet l'arrêt par le renversement de la vapeur, a été heureusement combinée avec l'envoi d'un jet de vapeur ou d'eau dans l'échappement; on a pu opérer ainsi le ralentissement à la descente des longues pentes, par l'*emploi de la contre-vapeur,* dans le *système dû à M. Le Chatelier.*

TABLEAU COMPARATIF DU POIDS MORT DE DIVERS VÉHICULES RAPPORTÉ À UNE CHARGE UTILE DE 1 TONNE.

DÉSIGNATION DES VÉHICULES ET DES LIGNES SUR LESQUELLES ILS CIRCULENT.		DATE de LA CONSTRUCTION.	NOMBRE DE PLACES OU CHARGEMENT.	POIDS du CHARGEMENT en kilogr.	TARE ou POIDS MORT du véhicule.	POIDS DU VÉHICULE p^r 1 tonne de poids utile.
		Modèle	Places	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
§ I. — VOITURES DES TRAINS DE VOYAGEURS.						
1re CLASSE.	*Orléans :* Châssis en bois..	1867	24	1,440	6,200	4,300
	Charentes : Brancards en fer.....	1870	24	1,440	6,600	4,600
	Paris-Lyon-Méditerranée : Châssis en fer (6 roues).	1873	28	1,680	9,000	5,400
2e CLASSE.	*Ouest :* Châssis en bois ...	1872	40	2,400	6,400	2,700
	Ouest : Châssis en bois avec impériale.....	1870	70	4,200	7,400	1,800
	Paris-Lyon-Méditerranée : Châssis en fer.....	1873	40	2,400	7,400	3,500
3e CLASSE.	*Nord :* Brancards en fer...	1873	50	3,000	6,300	2,100
	Paris-Lyon-Méditerranée : Châssis en fer.....	1873	50	3,000	6,900	2,300
	Ouest : Châssis en bois avec impériale.....	1864	86	5,160	7,000	1,350
	Est : Système Vidard à impériale fermée.....	1867	80	4,800	7,500	1,560
			Tonnes			
FOURGONS À BAGAGES.	*Midi :* Châssis en bois....	1872	5	5,000	6,400	1,300
	Ouest : id.	1870	5	5,000	6,800	1,400
	Orléans : Brancards en fer.	1874	6	6,000	7,800	1,200
	Paris-Lyon-Méditerranée : Châssis en fer.....	1874	4	4,000	7,400	1,850
	Nord : Brancards en fer (6 roues).....	1874	5	5,000	9,000	1,800
§ II. — WAGONS À MARCHANDISES.						
WAGONS COUVERTS.	*Est :* Brancards en fer (caisse de 4^m,80) ...	1866	10	10,000	4,400	440
	Orléans : Brancards en fer.	1873	8	8,000	6,000	750
	Nord : Brancards en fer..	1870	10	10,000	6,400	640
	Paris-Lyon-Méditerranée : Châssis en fer.....	1874	8	8,000	7,000	870
WAGONS À HOUILLE.	*Ouest :* Châssis en bois...	1872	10	10,000	4,300	430
	Orléans : Brancards en fer.	1873	10	10,000	4,500	450
	Nord : Brancards en fer..	1872	10	10,000	5,000	500
	Paris-Lyon-Méditerranée : Châssis en fer.....	1874	10	10,000	5,300	530
WAGONS PLATES-FORMES.	*Midi :* Châssis en bois....	1874	10	10,000	4,300	430
	Nord : Brancards en fer..	1870	10	10,000	4,400	440
	Charentes : Brancards en fer.....	1870	10	10,000	5,000	500
	Paris-Lyon-Méditerranée : Châssis en fer.....	1873	10	10,000	5,800	580

TROISIÈME SECTION.

NAVIGATION INTÉRIEURE,

RIVIÈRES ET CANAUX.

XVI

NAVIGATION ENTRE PARIS ET AUXERRE.

SUBSTITUTION D'UNE NAVIGATION CONTINUE À LA NAVIGATION INTERMITTENTE PRODUITE PAR LES ÉCLUSÉES DE L'YONNE [1].

Dessins à des échelles variant de $0^m,000\,025$ à $0^m,5$.

La voie navigable qui relie Auxerre à Paris emprunte le lit de l'Yonne entre Auxerre et Montereau sur $119,586^m$ et celui de la Seine entre Montereau et Paris sur..... $98,000$

Longueur totale..... $217,586^m$

Depuis plus de trois siècles, la navigation entre Auxerre et Paris était intermittente et avait lieu pendant huit à

[1] On appelle éclusées, sur la rivière d'Yonne, des crues factices produites par la fermeture et le débouchage régulier et successif des pertuis et barrages établis sur son cours, lesquelles crues entraînent les embarcations de toute sorte, trains, bateaux, équipes de vin, destinées à l'approvisionnement de Paris.

neuf mois de l'année, de mars en novembre, avec le secours des éclusées de la haute Yonne.

La navigation continue, procurant un tirant d'eau minimum de $1^{m},60$, fonctionne depuis le mois de septembre 1871 entre Paris et Laroche, et, depuis le mois de septembre 1874, jusqu'à Auxerre, grâce à l'établissement de douze barrages mobiles avec écluses sur la Seine et de vingt-cinq barrages mobiles sur l'Yonne; vingt-deux de ces derniers barrages sont accompagnés d'écluses, et trois sont placés en tête de dérivations.

RIVIÈRE D'YONNE.

Le cours de l'Yonne entre Auxerre et Montereau, représenté par un plan général et un profil en long, se divise en deux sections : la première section d'Auxerre à Laroche, longue de 27,616 mètres, a une largeur de lit de 60 à 80 mètres, une pente moyenne de $0^{m},000\,667$ par mètre et un débit de 13 mètres cubes à l'étiage; le débit des grandes crues varie de 300 à 500 mètres cubes; la deuxième section de Laroche à Montereau, longue de 91,970 mètres, a une largeur de lit de 80 à 100 mètres, une pente moyenne de $0^{m},000\,349$ par mètre et un débit de 17 mètres cubes à l'étiage; le débit des grandes crues varie de 700 à 1,100 mètres cubes.

Sur les vingt-cinq écluses de l'Yonne, vingt-deux ont une largeur de sas de $10^{m},50$ et une longueur utile de 96 mètres, et peuvent recevoir six bateaux de canal ou deux trains de bois accouplés; trois écluses anciennes ont une largeur de sas de $8^{m},30$; deux de ces écluses, celles d'Épineau et de Port-Renard, ont une longueur utile de

181 mètres et reçoivent également six bateaux de canal ou deux trains de bois; la troisième écluse, celle de la Chaînette, à Auxerre, a une longueur utile de 93 mètres; elle reçoit trois bateaux ou un train.

Tous les vantaux des écluses et des portes de garde sont en bois; chaque vantail est manœuvré par une crémaillère circulaire, actionnée par un pignon et une manivelle.

Il existe vingt-cinq barrages mobiles et trois dérivations d'Auxerre à Montereau.

Trois des vingt-cinq barrages mobiles sont anciens et du système Poirée, c'est-à-dire ayant un déversoir fixe et une passe fermée par des fermettes et des aiguilles : ce sont les barrages de la Chaînette, d'Épineau et de Port-Renard. Les vingt-deux nouveaux barrages ont une passe fermée par des hausses mobiles du système Chanoine, manœuvrées au moyen d'une barre à talon et d'un bateau; le déversoir est surmonté de hausses mobiles manœuvrées au moyen d'une passerelle pour treize barrages, de Laroche à Montereau; à six barrages compris entre Auxerre et Laroche, le déversoir est surmonté de fermettes et d'aiguilles avec une passerelle élevée de 25 centimètres au moins au-dessus de la retenue d'amont; on n'a point trop exhaussé cette passerelle dans la crainte de rendre les aiguilles difficiles à manœuvrer : pour un seul barrage, celui de l'Île-Brûlée, situé près d'Auxerre, le déversoir est surmonté de grandes vannes du système Girard.

Le seuil des passes est généralement placé à 50 ou 60 centimètres au-dessous de l'étiage; le couronnement des déversoirs fixes des trois barrages du système Poirée

est au niveau de la retenue; le seuil ou couronnement des déversoirs des autres barrages est situé à 50 centimètres au-dessus de l'étiage.

Pour éviter des portions de rivière très-sinueuses et dangereuses pour la navigation, on a exécuté trois dérivations, savoir :

Celle de Gurgy, longue de 5,007 mètres;

Celle de Joigny, longue de 3,574 mètres;

Celle de Courlon, longue de 4,134 mètres.

Ces trois dérivations procurent un raccourcissement de 11,309 mètres sur la distance d'Auxerre à Montereau.

En tête de chaque dérivation, il y a une porte de garde pour empêcher l'introduction des eaux des crues.

La largeur au plafond de chaque dérivation est de 16 mètres et la hauteur au-dessous du plan d'eau normal de $1^m,80$, avec des talus de 3 mètres de base pour 2 mètres de hauteur, ce qui donne $21^m,40$ de largeur à la surface de l'eau. Les digues ou chemins de halage ont de 4 à 6 mètres de largeur et sont élevées de 50 centimètres au moins au-dessus des plus grandes inondations connues. Le passage sous les ponts est réduit à $10^m,50$; la hauteur de l'intrados, au-dessus du plan d'eau, est de $5^m,50$.

LA SEINE (Fleuve).

Entre Montereau, au confluent de l'Yonne, et Moret, sur 12 kilomètres, la Seine a une largeur de lit de 100 à 110 mètres, une pente moyenne de $0^m,000\,218$ par mètre, un débit à l'étiage de 28 mètres cubes; entre Moret et Paris, la largeur du fleuve est de 140 à 170 mètres, la pente moyenne de $0^m,000\,195$ par mètre, et le

débit à l'étiage de 32 mètres cubes en aval du Loing et de 52 mètres cubes en aval de la Marne à la porte de Paris. Le débit des grandes crues entre Montereau et Paris varie de 900 à 2,000 mètres cubes par seconde.

En aval de Montereau, la hauteur de l'eau à l'étiage est de 50 à 60 centimètres sur les baissiers; les crues commencent à la hauteur de $2^m,50$; la navigation montante cesse à la hauteur de 3 mètres et la navigation descendante à $3^m,50$ environ. Les plus grandes crues atteignent la hauteur de $4^m,90$ à Montereau, $5^m,80$ à Melun, $6^m,35$ à Corbeil et $7^m,50$ à Paris.

L'état de navigabilité de la Seine entre Montereau et Paris était, avant le mois de septembre 1871, fortement influencé par le régime des éclusées de l'Yonne; aussi, pendant près des trois quarts de l'année, la navigation de la Seine était intermittente. Cet état précaire, et fâcheux sur un fleuve de l'importance de la Seine, a cessé depuis le mois de septembre 1871 par le relèvement des douze barrages mobiles exécutés, dans ces dernières années, entre Paris et Montereau.

Ces douze barrages avaient été construits dans le système Chanoine, c'est-à-dire avec des hausses mobiles larges de $1^m,20$ pour la passe, et des hausses dites automobiles larges de $1^m,30$ pour le déversoir; le vide entre les hausses relevées est de 10 centimètres; un seul barrage, celui de Melun, a conservé pour déversoir le barrage à fermettes et aiguilles qui existait dans le bras droit de la Seine. Par suite de mécomptes reconnus par l'expérience dans la manœuvre des hausses primitives du déversoir, on a exécuté en amont de chacun des déversoirs

à hausses une passerelle mobile à fermettes avec un plancher; du haut de ce plancher, on manœuvre avec facilité et sécurité les hausses du déversoir à l'aide de chaînes et d'un treuil roulant.

Les passes navigables, en maçonnerie, ont de $40^m,40$ à $65^m,10$ de largeur; leur seuil en bois, solidement encastré dans un radier de 10 mètres de largeur, est à 3 mètres au-dessous du niveau de la retenue et à 60 centimètres au-dessous de l'étiage. Les nouveaux déversoirs ont de $60^m,30$ à $70^m,10$ de longueur; leur seuil est à 50 centimètres au-dessus de l'étiage; le radier, large de 4 mètres, est formé d'un coffrage en charpente rempli de béton et surmonté de traverses en bois, entre lesquelles est encastré un pavage en maçonnerie; chaque déversoir est compris entre une pile de 3 mètres d'épaisseur qui le sépare de la passe et un épaulement qui le relie à la berge.

Les écluses ont un sas large de 12 mètres avec une longueur utile de 180 mètres[1], de manière à recevoir douze bateaux de canal ou quatre trains de bois.

Le busc d'aval d'une écluse est placé à $1^m,60$ au moins en contre-bas de la retenue du barrage inférieur, cette retenue étant supposée horizontale.

Les couronnements des barrages et des écluses sont au moins à 40 centimètres au-dessus des retenues d'amont.

CORRESPONDANCE TÉLÉGRAPHIQUE.

Une ligne télégraphique a été établie entre Paris et

[1] Ces dimensions exceptionnelles ont paru nécessaires à cause du grand nombre d'embarcations de toute grandeur qui arrivent de l'Yonne, de la Petite-Seine, du Loing et des ports de la Seine entre Montereau et Paris.

Auxerre et rend déjà de grands services en mettant en rapport chaque barrage avec les deux barrages voisins de l'amont et de l'aval.

DÉPENSES.

1° Sur l'Yonne, entre Auxerre et Montereau.

(Longueur de rivière canalisée, 108,277 mètres.)

Sept barrages éclusés d'Auxerre à Laroche.....	2,219,000f,00
Barrage de Gurgy, sans écluse.....	140,000 ,00
Huit barrages éclusés de Laroche à Sens.....	3,696,000 ,00
Barrage de Joigny, sans écluse.....	170,000 ,00
Sept barrages éclusés de Sens à Montereau.....	3,927,000 ,00
Barrage de Courlon, sans écluse.....	200,000 ,00
	10,352,000f,00
12,715 mètres de dérivation à grande section...	3,031,891 ,75
Travaux divers, dragages, digues, amélioration des chemins de halage, études, personnel, etc.	3,440,188 ,51
Total des dépenses entre Auxerre et Montereau [1].	16,824,080f,26

2° Sur la Seine, entre Montereau et Paris.

(Longueur de rivière canalisée, 98,000 mètres.)

Cinq barrages éclusés de Montereau à Melun....	4,046,416f,25
Six barrages éclusés de Melun à Ablon.....	5,185,411 ,20
Barrage éclusé de Port-à-l'Anglais.....	1,580,732 ,36
Travaux divers, dragages, digues, amélioration des chemins de halage, études, personnel, etc....	3,541,500 ,19
Total entre Montereau et Paris [1].....	14,354,060f,00

[1] L'intérêt des dépenses de premier établissement, augmenté de la dépense annuelle d'entretien, représente à peu près, pour le trafic moyen actuel, 2 centimes par tonne et par kilomètre pour l'Yonne et 1 centime pour la Seine.

Les auteurs des projets et les ingénieurs qui ont dirigé les travaux relatifs à l'établissement de la navigation continue entre Paris et Auxerre sont :

Pour la Seine : MM. les ingénieurs en chef des ponts et chaussées Chanoine et Cambuzat; MM. de Lagrené, Garceau, Boulé, Lévy (Maurice) et Lévy (Théodore), ingénieurs ordinaires.

Pour l'Yonne : M. Cambuzat, ingénieur en chef, et MM. Pille, Marini, Humblot, de Dartein, Remise, Lévy (Théodore) et Chigot, ingénieurs ordinaires des ponts et chaussées.

XVII

BARRAGES À HAUSSES MOBILES

DE LA HAUTE SEINE,

EN AMONT DE PARIS.

Dessins à des échelles variant de $0^m,000\,025$ à $0^m,5$.
Trois modèles à l'échelle de $0^m,10$ (un dixième).

Les barrages de la haute Seine comprennent deux parties essentielles : une passe navigable de 40 à 55 mètres et un déversoir de 60 à 70 mètres de largeur, pourvus de hausses mobiles. Ces deux parties sont séparées par une pile. Une écluse est généralement accolée au barrage.

Le seuil des passes navigables est établi à $0^m,60$ sous l'étiage; les hausses ont 3 mètres de hauteur et doivent être affleurées par l'eau, ce qui donne $2^m,40$ pour la hauteur de la retenue au-dessus de l'étiage. Le radier, en béton, a 2 mètres d'épaisseur, pavage non compris; sa largeur est de 6 mètres pour la partie destinée à recevoir les divers organes du barrage mobile, mais sa largeur totale, dans l'enceinte de pieux et palplanches, est d'environ 10 mètres, en y comprenant les batardeaux. Pour résister à la force d'arrachement résultant soit de la pression des hausses, soit des sous-pressions possibles, on a eu recours à des armatures en fer reliant par des ancres et des boulons verticaux, transversaux et longitudinaux, toutes les parties du radier. Un heurtoir en bois de $0^m,45$ d'épais-

seur règne tout le long du radier, auquel il est relié par la série des ancres; sa face amont sert d'appui à la base des hausses; sa partie aval reçoit les crapaudines des chevalets.

Une hausse est essentiellement composée d'un cadre en charpente, de $1^m,20$ de largeur et $3^m,11$ de hauteur, portant de $0^m,08$ sur le heurtoir; d'un chevalet et d'un arc-boutant en fer. On laisse entre les hausses un intervalle de $0^m,05$ à $0^m,15$, suivant le débit de la rivière à l'étiage.

La charpente d'une hausse comprend quatre montants, deux chevêtres, une traverse et des madriers; des brides et des équerres en fer consolident les assemblages de ces différentes pièces; les montants ont $0^m,14$ sur $0^m,13$ d'équarrissage, mais ils s'amincissent aux abords du chevêtre supérieur. Aux montants intermédiaires sont boulonnés deux colliers recevant les deux tourillons de la tête du chevalet qui constituent l'axe de rotation de la hausse. Celle-ci ne devant pas être automobile, cet axe a été placé au-dessus du tiers, à peu près aux cinq douzièmes de sa hauteur. Chacun de ces tourillons porte un arrêt qui limite à 15 degrés l'inclinaison sur l'horizon de la hausse en bascule, pour éviter un effort trop marqué dans le rabattement de la culasse. Un contre-poids de 66 kilogr. environ est placé vers le bas de la hausse, pour contrebalancer le moment dû poids de la volée lorsque la culasse est immergée.

Le chevalet est un trapèze consolidé par une traverse; il a $1^m,47$ de hauteur, 76 centimètres de largeur à la base et 45 centimètres au sommet; les fers ont $0^m,065$ sur $0^m,035$. La base se termine par deux tourillons reçus

par des crapaudines scellées dans le heurtoir, autour desquels le chevalet peut tourner pour se rabattre sur le radier avec la hausse qu'il supporte. La traverse supérieure est également pourvue de deux tourillons, constituant l'axe de rotation de la hausse. Enfin, cette même traverse fait corps avec deux joues verticales saillantes entre lesquelles se loge la tête de l'arc-boutant, tête et joues traversées par un boulon de 5 centimètres de diamètre.

L'arc-boutant est une tige en fer, de $2^m,70$ de longueur et 9 centimètres de diamètre, destinée à soutenir la hausse et la charge de la retenue : il est articulé au sommet du chevalet par un boulon et va buter, à son autre extrémité, contre un heurtoir en fonte fortement scellé dans le radier. Ce heurtoir, en forme de plan incliné, de 35 centimètres de longueur et de 10 centimètres de hauteur, est encastré dans deux oreilles évasées faisant saillie de 6 centimètres; il est accompagné d'une glissière largement courbe, de $1^m,52$ de longueur, limitée par une oreille également en saillie de 6 centimètres. Lorsqu'on veut abattre une hausse, il suffit de pousser d'une façon quelconque l'extrémité de l'arc-boutant; aussitôt qu'il a échappé le front du heurtoir, il glisse le long de l'oreille de la glissière, pendant que le chevalet, tournant autour de sa base, vient se rabattre avec la hausse sur le radier. Pour la relever, on la tire par la base de la culasse, pourvue à cet effet d'une large poignée en fer, dans laquelle l'éclusier introduit un crochet de traction attaché à une corde qui vient s'enrouler sur un treuil fixé au bateau de manœuvre; on soulève ainsi successivement la culasse, puis le chevalet et enfin l'arc-boutant, dont le pied remonte le

plan incliné et vient s'appuyer sur le heurtoir. Le chevalet est dès lors fixé, la hausse bascule, par suite soit de l'excès de poids de la culasse, soit d'une légère pesée, et vient s'appuyer contre le seuil. Dans ce relèvement, la chute d'eau devient un auxiliaire, parce qu'elle tend à soulever la charpente de la hausse, dont l'axe de rotation est placé à une certaine hauteur au-dessus du seuil.

Les pieds des arcs-boutants sont dégagés du front des heurtoirs à l'aide d'une barre à talons; cette barre, guidée par des prisonniers et supportée par des galets, est terminée par une crémaillère commandée par un treuil logé dans la pile. Lorsque la largeur de la passe excède 30 mètres, on adopte deux de ces barres, qu'on place bout à bout et qu'on manœuvre en sens inverse des deux extrémités du barrage. On espace les talons de manière à ce que la course totale d'une barre soit inférieure à la distance de deux arcs-boutants; pour cela, on s'arrange de manière à abattre les premières hausses une à une, les suivantes deux à deux, les dernières trois à trois.

L'ouverture d'une passe navigable se fait de la rive, et à l'aide du treuil, en trois secondes par mètre courant; la fermeture s'opère avec un bateau, à raison d'une minute et quart environ.

Le prix moyen, par mètre courant, de ces barrages à hausses mobiles s'est élevé à 3,070 francs, dont 2,278 fr. pour la partie fixe et 792 francs pour la partie mobile.

Les déversoirs de la haute Seine ont de 60 à 70 mètres de longueur; ils sont arasés à 50 centimètres au-dessus de l'étiage et constitués par un massif de béton coulé dans une enceinte et recouvert d'un pavage en meulière de

30 centimètres d'épaisseur. La largeur de ce massif est de 4 mètres, laissant 1 mètre de jeu, en amont et en aval, aux hausses couchées. On a soustrait les parties mobiles au tassement possible du béton en les faisant reposer sur des traverses et des longrines fixées aux deux lignes de pieux de l'enceinte et à une troisième file de pieux intermédiaires enfoncés au refus.

Les hausses automobiles des déversoirs ont 2 mètres de hauteur et $1^{m},30$ de largeur; elles sont constituées comme celles des passes. Dans le système primitif imaginé par M. l'ingénieur en chef Chanoine, elles devaient s'abattre et se relever d'elles-mêmes, grâce à la position de l'axe de rotation qui n'est élevé que de 5 centimètres au-dessus du tiers de la hauteur, et aussi eu égard à la présence d'un contre-poids mobile.

Ce système ingénieux de hausses, dites *automobiles*, du déversoir, frappait par sa simplicité et séduisait au premier abord, dans les expériences faites isolément, à un seul barrage. Mais, de l'essai du fonctionnement des douze barrages de la Seine entre Montereau et Paris, il résulta de graves mécomptes; les hausses automobiles s'abattaient trop promptement, et elles ne se relevaient d'elles-mêmes qu'après un abaissement de 1 mètre du plan d'eau d'amont.

On a eu recours à une passerelle de manœuvre en amont de chaque déversoir. Cette passerelle se compose de fermettes en fer, dans le système des barrages Poirée, mobiles autour d'un axe horizontal perpendiculaire à l'axe du déversoir; chaque fermette correspond à l'axe d'une hausse; ces fermettes sont reliées à leurs têtes par deux barres d'as-

semblage qui limitent la largeur de la passerelle; entre ces barres est établi un plancher en bois, élevé de $0^m,50$ au-dessus du niveau de la retenue; les deux barres d'assemblage sont les rails sur lesquels roule le chariot qui porte le treuil de manœuvre; enfin à ce treuil peuvent aboutir deux chaînes, l'une attachée à la tête de la volée et l'autre au bas de la culasse de chaque hausse. A l'aide du treuil, solidement amarré à une ou deux fermettes, et avec les deux chaînes, on fait, sans fatigue et sans danger, toutes les manœuvres nécessaires; en temps de crue, les fermettes de la passerelle s'abattent dans un encadrement qui est à peu près au niveau du radier du déversoir; les planches, les barres et le treuil se mettent en magasin. On a allégé les hausses des déversoirs des contre-poids mobiles qui n'ont plus de raison d'être.

Le nouveau système a parfaitement réussi; la nuit, chaque éclusier est prévenu de la variation de l'eau en amont de son barrage par une sonnerie mise en mouvement par un flotteur; en outre, tous les barrages sont reliés entre eux par une correspondance télégraphique, et le système ainsi complété empêche toute surprise.

NOUVELLE PASSE OU PERTUIS NAVIGABLE DU BARRAGE DE PORT-À-L'ANGLAIS.

Par suite de dispositions nouvelles adoptées pour laisser libre le lit de la Seine dans la traversée de Paris, il a fallu, après coup, abaisser de 1 mètre le busc d'aval de l'écluse du barrage de Port-à-l'Anglais, ce qui a entraîné l'exécution, dans la partie gauche du déversoir, d'une nouvelle passe navigable, ou pertuis, dont la largeur de $28^m,70$

entre les culées a réduit à $37^m,90$ la largeur du déversoir; l'ancienne passe navigable de $54^m,70$ a été maintenue dans son état primitif. Le pertuis est fermé par vingt-six hausses mobiles du système de M. Chanoine; son seuil, se trouvant à 70 centimètres en contre-bas de celui de l'ancienne passe, qui est fermée par des hausses de 3 mètres, les nouvelles vannes mobiles s'élèvent jusqu'à $3^m,70$ au-dessus de leur seuil.

Pour supporter une retenue aussi considérable, différentes modifications ont dû être apportées aux modèles primitivement adoptés par M. Chanoine pour les barrages à hausses mobiles.

1° La largeur de chaque hausse a été réduite à 1 mètre au lieu de $1^m,20$; l'intervalle de 10 centimètres entre deux hausses a été conservé; en outre, la charpente a été simplifiée. Elle se compose de deux montants réunis par quatre entretoises; ces montants ont $3^m,86$ de longueur et 30 centimètres sur 20 centimètres d'équarrissage; les bordures intermédiaires ont 5 centimètres d'épaisseur.

2° L'inclinaison des hausses sur la verticale, qui était de 8 degrés dans le modèle de M. Chanoine, a été portée à 20 degrés pour diminuer l'effort qui tend à arracher le seuil du radier.

3° Lorsqu'une hausse est abattue, elle porte sur quatre dés faisant corps avec le radier; en outre, la volée est relevée par deux taquets fixés aux montants; grâce à cette disposition, la hausse est parfaitement soutenue et aucune déformation de la charpente n'est à craindre.

4° Dans le modèle primitif de M. Chanoine, l'axe de rotation était placé aux 5/12 de la hauteur totale; pour

les nouvelles hausses de Port-à-l'Anglais, cette disposition donnerait à la culasse une hauteur de $1^{m},60$ environ; on lui a donné $1^{m},75$ et on a placé l'axe de rotation à 15 centimètres seulement en contre-bas de l'axe de figure.

Cette disposition empêche ces hausses de basculer spontanément, inconvénient que présentent quelquefois les anciennes, lorsque les eaux s'élèvent trop dans le bief d'aval et que la chute du barrage est réduite outre mesure. On remédie actuellement à cet inconvénient des hausses de l'ancienne passe navigable en disposant entre les montants de leur volée de petites ventelles automobiles autour d'un axe horizontal et ayant 1 mètre de hauteur sur 42 centimètres de largeur. Ces ventelles, appelées vannes-papillons, s'ouvrent spontanément avant que la hausse vienne à basculer, et l'éclusier les referme en temps utile avec la plus grande facilité, au moyen d'une gaffe, en circulant en batelet derrière le barrage.

5° Au lieu de se contenter d'un bateau de manœuvre pour opérer le relevage des grandes hausses de la nouvelle passe, on a établi à l'amont une passerelle de service composée de fermettes du système Poirée, sur lesquelles roule le treuil de manœuvre.

Les fermettes de la passerelle ont $4^{m},75$ de hauteur totale, $3^{m},10$ de largeur à la base et $1^{m},20$ au sommet; une fermette se trouve au droit de l'axe de chaque hausse, et le plancher de la passerelle est placé à 50 centimètres au-dessus de la retenue normale du barrage. Les montants d'amont et d'aval, les bracons et les entretoises sont formés par des fers en U de 8 centimètres de largeur, 35 millimètres de hauteur et 7 millimètres d'épaisseur. L'essieu

ou traverse inférieure est en fer rond de 8 centimètres de diamètre. Toutes ces pièces sont réunies par de larges goussets en tôle de 7 millimètres d'épaisseur.

M. Chanoine, ingénieur en chef des ponts et chaussées, et M. de Lagrené, ingénieur ordinaire, avaient fait les projets et dirigé les travaux du barrage éclusé primitif de Port-à-l'Anglais; M. l'ingénieur en chef Cambuzat et M. Boulé, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées, ont fait les projets et dirigé les travaux de transformation de ce barrage.

MM. les conducteurs Roger-Queux, Nicolle, Bertauche et Ponteau ont surveillé ces derniers travaux, exécutés par les entrepreneurs Bathier, Canapville, Denuelle et Marc, et par la maison Claparède, de Saint-Denis.

XVIII

DÉVERSOIR DU BARRAGE DE L'ÎLE-BRÛLÉE, SUR L'YONNE.

SYSTÈME À VANNES ET PRESSES HYDRAULIQUES DE M. GIRARD.

Dessins à des échelles variant de $0^m,000\ 025$ à $0^m,5$.
Un modèle à l'échelle de $0^m,10$ (un dixième).

Le déversoir de l'Île-Brûlée est surmonté de grandes vannes de l'invention de M. Girard, ingénieur civil. Ce système comporte :

1° Une série de vannes en bois, mobiles autour d'un axe horizontal qui peut tourner dans une gorge en fonte scellée sur la crête d'un radier en maçonnerie;

2° Des presses hydrauliques fixées sur le versant aval du radier, solidement ancrées dans les maçonneries et destinées à manœuvrer chaque vanne. La tige du piston de chacune de ces presses porte une traverse guidée dans son mouvement par des glissières sur lesquelles elle s'appuie: à cette traverse sont adaptées trois bielles qui viennent s'articuler à une autre traverse fixée aux vannes mobiles en leur milieu;

3° Une série de tubes en cuivre qui mettent chaque presse en communication avec les générateurs et réservoirs de force destinés à envoyer l'eau sous pression dans les presses hydrauliques;

4° Une usine hydraulique construite sur la culée du barrage. Cette usine comprend une turbine à axe vertical, une pompe à double effet qui reçoit son mouvement de la turbine, et un réservoir de force. Les pompes et le réservoir communiquent ensemble, et avec les presses, par l'intermédiaire de robinets à trois eaux qui permettent de refouler l'eau soit dans le réservoir, soit dans les presses, ou de l'évacuer dans un tuyau de décharge.

La manœuvre des vannes se fait par un simple jeu de ces robinets. En mettant chaque presse en communication soit avec les pompes, soit avec le réservoir de force sous une pression suffisante, on produit le mouvement ascensionnel du piston et, par suite, le relèvement de la vanne; en ouvrant, au contraire, le robinet sur le tuyau de décharge, l'eau s'échappe sous la pression de la vanne, le corps de presse se vide et la vanne s'abat.

Le réservoir de force est un régulateur du jeu des pompes; il permet en outre de relever le barrage quand, la retenue n'étant pas encore produite, il n'y a pas assez de chute pour mettre la turbine en mouvement.

Le déversoir du barrage de l'Île-Brûlée a 25 mètres de longueur; le seuil est arasé à 2 mètres en contre-bas du niveau de la retenue d'amont. La chute est de $1^{m},85$.

Les vannes sont au nombre de sept. Elles ont $3^{m},52$ de largeur sur $1^{m},97$ de hauteur. Quand elles sont relevées, elles présentent un fruit de 40 centimètres; abattues, elles se couchent horizontalement sur le radier.

Les presses sont également au nombre de sept : elles sont en fonte; leur diamètre extérieur est de 40 centimètres, leur épaisseur de 4 centimètres. Le piston est en

fonte revêtue d'une chemise en bronze; son diamètre est de 30 centimètres. Il glisse dans une garniture en cuir embouti qui forme un joint d'autant plus étanche que la pression est plus forte.

Les tuyaux d'alimentation débouchent au fond des corps de presses; leur diamètre est de 25 millimètres; il y en a un pour chaque presse. Ils sont logés dans l'épaisseur du radier et aboutissent aux robinets de distribution dans l'intérieur de l'usine hydraulique.

Pour être à l'abri de la gelée, les presses ont été établies tout entières au-dessous de la retenue d'aval; mais cette disposition ayant l'inconvénient de rendre difficile la visite ou la réparation de leurs organes, on a ménagé entre chacune d'elles des cloisons en maçonnerie munies de coulisses à l'aide desquelles on pourra, sans grands frais, établir des batardeaux en poutrelles et épuiser isolément chaque compartiment pour réparer ou visiter leurs organes.

La turbine à axe vertical présente $1^{m},20$ de diamètre; elle actionne directement, par sa manivelle supérieure, une pompe à eau à double effet, et une pompe à air, qui refoule l'eau et l'air dans le réservoir de force, sous une pression qui peut aller jusqu'à 25 et 30 atmosphères.

Le réservoir de force est un cylindre en fonte de 66 centimètres de diamètre intérieur et de $3^{m},50$ de hauteur. L'épaisseur des parois est de 5 centimètres. Ce réservoir a été éprouvé, ainsi que tous les appareils du barrage, sous une pression de 35 atmosphères.

Les dimensions des divers organes du barrage ont été calculées par M. Girard, de manière qu'on n'eût jamais à

dépasser la pression de 25 atmosphères. Cette pression est nécessaire pour relever le barrage sous la chute complète de 1m,85. Les appareils marchent avec une grande régularité et une rapidité remarquable. Il faut moins d'une minute pour relever une grande vanne. Il sera possible d'ailleurs de diminuer notablement la pression nécessaire au relèvement, en munissant les grandes vannes de petites ventelles appelées papillons, comme on en a fait l'essai sur deux d'entre elles; ces papillons, au nombre de trois par vanne, sont placés à la partie supérieure; ils ont leur axe de rotation au tiers de leur hauteur. Quand la vanne est abattue, ils s'inclinent dans le sens des filets de la nappe d'eau qui les couvre, et comme ils sont en tôle mince, ils n'offrent pas de résistance à la poussée de l'eau, en sorte que la pression sur la vanne au départ est notablement réduite. Quand la vanne commence à émerger de l'eau, les papillons se referment d'eux-mêmes.

Lorsque les vannes sont levées, il ne faut pas une pression de plus de 7 à 8 atmosphères pour les soutenir; il n'est pas nécessaire, d'ailleurs, de laisser les presses en communication avec le réservoir de force. Il suffit de fermer les robinets de distribution; les presses, toutes bien étanches, ne se vident pas.

La dépense de construction de ce système de barrage est de 2,000 francs par mètre courant et de 3,000 francs avec les maçonneries.

Le déversoir à fermettes et aiguilles ne coûte, dans cette partie de l'Yonne, où les fondations sont faciles, que 1,200 francs par mètre courant, tout compris. Le système à presses hydrauliques, s'il a l'avantage d'un fonctionne-

ment plus commode, a donc l'inconvénient d'être relativement très-coûteux.

M. Cambuzat, ingénieur en chef, et M. Remise, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées, ont fait les projets et dirigé les travaux du barrage éclusé de l'Île-Brûlée; M. Callon, entrepreneur, et la maison Feray, d'Essonnes, ont exécuté le déversoir à vannes du système Girard.

On doit mentionner ici particulièrement le nom de l'inventeur Girard, qu'une mort prématurée a brusquement enlevé aux plus patientes et aux plus ingénieuses recherches.

XIX

DÉVERSOIRS À HAUSSES MOBILES

DES BARRAGES DE LA MARNE.

Un modèle à l'échelle de $0^m,10$ (un dixième).

Sur les quatorze barrages qui ont été construits, de 1855 à 1867, pour canaliser la basse Marne entre Épernay et Paris (178 kilomètres), il y en a onze qui comprennent, outre une écluse et un pertuis (ou passe navigable), un déversoir fixe surmonté de hausses mobiles. Ces hausses, d'un système original, et dont le fonctionnement irréprochable est aujourd'hui sanctionné par une expérience de dix-huit années (1858-1876), ont été imaginées par l'ingénieur en chef du service, nommé depuis inspecteur général des ponts et chaussées, et mort en 1867, M. Louiche-Desfontaines. Le système est facile à comprendre d'après le modèle envoyé à l'Exposition de Philadelphie.

Partie fixe du déversoir. — La chute de ces barrages est de 2 mètres environ ($2^m,16$ au barrage de Joinville, le dernier construit). Le déversoir fixe s'élève à moitié de la hauteur comprise entre la retenue d'amont et celle d'aval; les hausses mobiles ont conséquemment 1 mètre de hauteur ($1^m,10$ à Joinville).

Dans les deux premiers barrages construits, le massif fixe était en pierres sèches; dans les autres on l'a fait,

pour plus de sûreté relativement aux infiltrations possibles de l'eau, en maçonnerie à mortier. Il est compris entre deux files de pieux moisés. Quand on employait des pierres sèches, des palplanches étaient ajoutées à l'amont de manière à former un écran aussi étanche qu'un panneau de menuiserie. Plus tard, des palplanches ordinaires, ajoutées à l'aval comme à l'amont, constituèrent le coffrage nécessaire pour couler le béton sous l'eau.

Idée générale des hausses à tambour. — Qu'on imagine une vanne en tôle de 2 mètres de hauteur et $1^{m},50$ de largeur, mobile autour d'un axe horizontal médian et pouvant décrire un quart de cercle. Si l'axe est fixé au sommet du déversoir fixe, la partie supérieure de la vanne formera une *hausse* mobile; quant à la partie inférieure ou *contre-hausse,* elle ne pourra se mouvoir que si l'on a ménagé à cet effet, dans la maçonnerie du déversoir fixe, une cavité convenable, un *tambour* à axe horizontal. La section transversale de ce tambour, parallèlement à l'axe de la rivière, est essentiellement composée d'un quart de cercle, auquel un rectangle est accolé du côté d'aval.

C'est avec la contre-hausse qu'on fait marcher la hausse, et la force motrice est la pression résultant d'une dénivellation préexistante entre l'amont et l'aval du barrage. Mais comment appliquer cette pression à la contre-hausse?

Si l'on suppose le tambour limité latéralement par deux plaques verticales et couvert par le haut, au niveau de l'axe de rotation, par une plaque horizontale, on aura constitué une boîte fermée que la contre-hausse divise en deux compartiments, deux secteurs d'étendue variable suivant la position qu'elle occupe; il y a un compartiment

d'amont et un d'aval. Quand elle tourne, la contre-hausse rase (à 3 ou 4 millimètres près), par sa rive opposée à l'axe, la paroi cylindrique du tambour, et, par ses deux rives latérales, la paroi verticale des fonds. Mais quand elle devient verticale, ainsi que la hausse, elle rencontre tout au pourtour une petite saillie qui l'arrête fixement et sur laquelle une bande de caoutchouc assure un contact parfaitement étanche.

Cette contre-hausse, d'ailleurs, n'est pas dirigée dans le prolongement de la hausse : elle se contourne au départ de la charnière et ne redevient parallèle à la hausse qu'à 30 ou 40 centimètres de distance. De là résulte que, la hausse étant horizontalement couchée sur le déversoir fixe, la contre-hausse, bien qu'horizontale aussi, laisse un espace vide de 40 centimètres de hauteur entre elle et la couverte de tôle du tambour. Or, imaginons qu'on puisse alors mettre cet espace vide, ce compartiment d'amont, en communication avec le bief d'amont, tandis que le compartiment d'aval, plus ou moins vide, sera mis en communication avec le bief d'aval : la contre-hausse pourra descendre en tournant malgré la double pression, statique et dynamique, qui s'exerce en même temps sur la hausse et tend à la maintenir couchée. L'effort qui s'exerce sur la contre-hausse peut prédominer par la double raison qu'elle présente un développement un peu plus grand que celui de la hausse et qu'elle est placée plus bas. La vanne se dressera donc.

Pour la faire abattre, il n'y aurait qu'à l'abandonner à elle-même en interceptant la communication du bief d'amont avec le compartiment d'amont du tambour; mais

l'appareil Desfontaines est à double effet : on peut mettre le compartiment d'aval du tambour en communication avec le bief d'amont, tandis qu'on met le compartiment d'amont en communication avec le bief d'aval; et alors la contre-hausse, prise à revers par la pression, remonte vers l'amont d'autant plus aisément que le courant agit toujours sur la hausse pour l'abattre.

Réalisation. — Pour passer de cette conception abstraite à un vrai barrage de longueur quelconque, il y a trois hypothèses à réaliser, trois problèmes d'application à résoudre :

1° Mettre à volonté en communication le compartiment d'amont du tambour avec le bief d'amont, tandis que le compartiment d'aval communique avec le bief d'aval, ou réciproquement; 2° pouvoir agir, non pas sur un tambour unique de $1^m,50$ de largeur, mais sur un nombre quelconque de tambours pareils, établis les uns à la suite des autres, fond contre fond; 3° créer artificiellement une chute primordiale suffisante.

Si l'on imagine deux aqueducs ménagés dans la culée du barrage, parallèlement à l'axe de la rivière, munis chacun d'une ventelle à chacune de ses extrémités et reliés tous deux par un conduit transversal, l'un avec le compartiment d'amont du tambour (appliqué contre le parement vu de la culée), l'autre avec le compartiment d'aval, il est aisé de comprendre qu'en manœuvrant convenablement les quatre ventelles on aura résolu le problème. Mais l'esprit sagace de M. Desfontaines reconnut bien vite qu'on pouvait : 1° réduire les deux aqueducs à un seul d'ouverture rectangulaire ($1^m,20$ sur $0^m,80$), divisé en

deux au milieu par une plaque horizontale de fonte de 3 centimètres d'épaisseur; 2° réduire les quatre ventelles à deux, dont chacune masque un orifice quand elle démasque l'autre; 3° réduire les manœuvres de ventelles à une seule, le mouvement se transmettant, de l'amont à l'aval des aqueducs, par un balancier installé au-dessus, comme celui des machines à vapeur.

Passons au second point.

Pour que l'eau, qui arrive ou sort en passant par l'aqueduc de la culée, puisse pénétrer dans le tambour ou en sortir, il a fallu percer l'un des fonds verticaux du tambour de deux ouvertures qui correspondent respectivement aux deux conduits transversaux. Or, des ouvertures absolument pareilles, percées dans l'autre fond du tambour ou dans la cloison séparative de deux tambours consécutifs, permettent à l'eau de passer d'un tambour dans l'autre et d'agir successivement sur chacune des vannes. Si l'eau devait agir sur plusieurs vannes à la fois, se perdant comme elle se perd sur les trois rives libres des contre-hausses, elle pourrait ne pas arriver en quantité suffisante; mais elle ne passe dans un nouveau tambour qu'après avoir rempli et transformé en autant de vases clos tous ceux qui précèdent.

C'est là un des points les moins remarqués, les moins bien compris et les plus ingénieux du système de M. Desfontaines.

Nous parlerons un peu plus loin de la création préalable de la petite chute qui doit fournir la force motrice.

Tambours en métal ou en maçonnerie. — Pour les deux premiers barrages, M. Desfontaines avait construit des

tambours entièrement métalliques : ils présentaient, tant à l'amont qu'à l'aval, des rebords horizontaux saillants, qui s'appuyaient et se boulonnaient sur les moises intérieures des deux files de pieux. Il préféra faire les autres tambours en maçonnerie, ménageant dans toute la longueur du déversoir une cavité, convenablement profilée, que l'on divise ensuite en tronçons de 1m,50 de longueur au moyen de diaphragmes en fonte, encastrés de 8 centimètres dans la maçonnerie.

Charnières. — Un tuyau en fonte, qui porte l'essieu en fer forgé et la vanne, s'appuie par ses deux extrémités sur deux diaphragmes consécutifs. En amont de cette charnière, la cavité est recouverte (dans le dernier barrage construit) par une plaque de tôle qui, lorsqu'on veut descendre dans les tambours pour les visiter, peut s'ouvrir en tournant autour de sa rive inférieure; en aval de la charnière, la cavité est recouverte d'une plaque de fonte simplement fixée par des boulons.

Visite et entretien. — Au barrage de Joinville, on fait, au besoin, rouler sur la partie fixe du déversoir, et d'un bout à l'autre, un petit chariot portant une chèvre, qui permet de soulever successivement à hauteur d'homme chacune des charnières avec sa vanne et de les repeindre avec du goudron de gaz, tandis que la retenue d'amont, — que l'on n'a jamais abaissée depuis 1867, — est maintenue par un batardeau qui consiste en madriers superposés et horizontalement appuyés contre de petites fermettes Poirée.

Abatage partiel des hausses. — Les variations du débit de la rivière exigent que l'on fasse varier, pendant une

partie de l'année, le débouché superficiel du déversoir. Pour satisfaire à cette condition, M. Desfontaines avait adapté à la face d'aval des hausses, dans quatre de ses barrages, une béquille articulée dont le pied, glissant sur le sommet du déversoir, peut être arrêté par une saillie, par un fer d'angle mécaniquement amené à l'endroit convenable : la hausse, inclinée à 45° par exemple, est alors soutenue par la béquille comme les *vannes à bascule* des *pertuis* le sont par un arc-boutant. Mais il y a, dans cet emprunt fait à un autre système de barrage, cette différence importante que l'on n'a pas, pour les hausses Desfontaines, à faire démarrer latéralement et de vive force des arcs-boutants chargés d'une pression d'eau : quand on veut passer de l'abatage partiel à l'abatage total, on commence toujours par redresser les hausses verticalement, après quoi l'on écarte les arrêts qui n'ont été qu'accidentellement mis en jeu.

Du reste, il n'y a point de béquilles dans le dernier barrage construit. Les vannes sont toujours, à deux ou trois près, entièrement levées ou entièrement couchées; mais on peut n'en abattre que le nombre qu'on veut. Il suffit, à cet effet, que la ventelle d'introduction de l'eau dans les aqueducs demeurant fermée à l'une des extrémités du déversoir, à la *pile* par exemple, le barragiste ouvre plus ou moins la ventelle de la *culée*.

Voici, en résumé, comment s'opère le règlement variable de la retenue :

Tranquillement installé sur la culée du barrage, et les yeux fixés vers l'amont sur une échelle hydrométrique, le barragiste tourne dans un sens ou dans l'autre la mani-

velle qui commande l'accès de l'eau dans les tambours. Il peut s'arrêter après avoir provoqué le relevage ou l'abatage d'une vanne seulement. S'il continue dans le sens du relevage, les vannes se dressent successivement et viennent s'aligner avec une précision géométrique, ne laissant entre elles que des vides de 10 millimètres (qu'on eût pu aisément réduire à 5). Il peut ainsi faire lever jusqu'à la moitié des vannes, 21 sur 42 à Joinville. S'il veut que tout se dresse, il suffit qu'il aille, sur la pile, supprimer, en levant ou baissant la ventelle de prise d'eau, la résistance jusque-là maintenue. Quand on fait concourir au relevage les deux ventelles de la pile et de la culée, l'opération (nous allions dire le phénomène) s'accomplit en moins de deux minutes à Joinville, sur 63 mètres de longueur; et il n'est pas un ingénieur qui ait pu voir sans quelque émotion les dernières hausses, surtout, se dressant avec une égale aisance en soulevant et refoulant vers l'amont la masse d'eau qui se précipitait en cataracte par le vide graduellement rétréci du déversoir.

Chute préexistante. — Ce relevage des hausses n'a pas besoin de s'opérer en tout temps : il n'a d'utilité que lorsque les eaux de la Marne, baissant à la suite d'une crue, menacent de descendre en contre-bas du niveau fixé pour la retenue normale. C'est alors qu'on a besoin d'une petite chute. Elle résulte en partie, dans les barrages de la Marne, de la réduction de section produite par le déversoir fixe, lequel est en saillie sur le fond de la rivière. D'autre part, on commence par fermer le *pertuis*.

Pertuis. — Sur les onze barrages de la Marne qui comprennent un déversoir à hausses Desfontaines, dix ont

leur pertuis fermé par des *vannes à bascule*. Le système y est établi à peu près comme dans les barrages de la haute Seine; mais le relevage des vannes ne s'est jamais opéré à l'aide d'un bateau : contrairement aux projets de M. Carro, M. Desfontaines a immédiatement construit, en amont du pertuis, une passerelle de service installée sur des fermettes Poirée.

D'autre part, M. Desfontaines avait posé en principe qu'on doit, autant que possible, réduire les pertuis ou passes navigables à la largeur nécessaire pour la navigation. On réduit ainsi la dépense d'établissement et les sérieuses difficultés d'entretien de ces engins mobiles, dont on est bien plus maître quand le seuil fixe qui les supporte se trouve à une moindre profondeur sous l'eau. Voilà pourquoi on n'a donné que 25 mètres d'ouverture aux pertuis de la Marne.

Du reste, dans le dernier barrage construit, on est revenu des vannes à bascule aux *fermettes*. Les deux systèmes Poirée et Desfontaines se marient et se complètent de la façon la plus harmonieuse : c'est avec les hausses qu'on règle la retenue; et, en cas de crues un peu fortes, le supplément de débouché qu'on peut instantanément créer par le déversoir donne tout le temps nécessaire pour procéder à l'enlèvement des aiguilles et à l'abatage des fermettes.

Historique. — Au moment où le système Desfontaines va être officiellement présenté aux Américains, il est difficile de ne pas ajouter quelques renseignements historiques à la notice qui le concerne.

Ce système appartient à une catégorie de barrages

mobiles qui ont de commun d'être *mus par la chute*. De temps immémorial, en Hollande, on a fermé le courant des canaux d'arrosage avec des portes en éventail que l'inégalité de leur largeur rendait sensibles à l'impulsion produite par une faible chute. Ce mode de fermeture est même encore usité maintenant. L'idée passa vraisemblablement en Amérique, car on l'y retrouve en 1818, sur le Lehigh (en Pennsylvanie), appliquée non plus sous la forme de portes à axes verticaux, mais sous la forme de portes ou grands panneaux de charpente à axes horizontaux. Signalé en quelques lignes dans l'ouvrage de M. Michel Chevalier (1843) et recommandé par feu M. Mary, le barrage du Lehigh fut exécuté en France, sur la haute Marne, par MM. Desfontaines et Fleur Saint-Denis : l'ouvrage était entre bonnes mains; les résultats furent cependant médiocres. Mais cet essai laissa dans l'esprit inventif de M. Desfontaines un germe qui a fructifié, et nous renvoyons avec quelque orgueil de l'autre côté de l'Atlantique le barrage *américain* francisé.

Les déversoirs à hausses mobiles de la Marne ont été construits, sous la direction de M. Desfontaines, ingénieur en chef, par MM. Carro, Holleaux, Philbert et Malézieux, ingénieurs ordinaires des ponts et chaussées. (*Annales des ponts et chaussées*, 1868, 2e semestre.)

XX

BARRAGE À FERMETTES MOBILES DE MARTOT,

SUR LA SEINE.

Modèle à l'échelle de $0^m,10$ (un dixième).

Les travaux de la retenue de Martot se composent d'une écluse dont le sas a 105 mètres de longueur sur 12 mètres de largeur; d'un premier barrage, reliant l'écluse à l'île Geoffroy; d'un déversoir à hausses automobiles reliant cette île à l'île au Moine; d'un second barrage, compris entre l'île au Moine et la rive gauche.

Ce dernier barrage est composé de trois passes de 51 mètres d'ouverture, comprises entre deux culées et trois piles ayant les unes 6 mètres, les autres $4^m,10$ d'épaisseur sur 8 mètres de longueur.

Le radier est compris entre deux files de pieux et palplanches, distantes de 10 mètres; il a $2^m,50$ d'épaisseur moyenne. Il est construit en béton, recouvert soit de maçonnerie de moellons et mortier de ciment, soit de pierres de taille. L'appareil en pierres de taille comprend : 1° le seuil, qui reçoit les coussinets d'amont et la plaque de heurtoir; ces pierres, taillées à queue d'aronde, ont $1^m,50$ sur $1^m,10$ de hauteur au heurtoir; 2° la plate-bande d'amont, prolongeant le refouillement en plan incliné nécessaire à l'appui des aiguilles : cette partie a 1 mètre de longueur sur 80 centimètres de hauteur; 3° les pierres de coussinets d'aval; 4° la plate-bande d'aval : ces deux parties ont ensemble $2^m,25$ de longueur et 80 centimètres

d'épaisseur. Entre ces deux plates-bandes, le radier est en meulière recouverte d'un enduit en ciment de Portland; en deçà et au delà il est appareillé en meulière piquée.

Les diverses parties du radier sont énergiquement reliées par de grands boulons en fer de 4 centimètres de diamètre, traversant de 5 mètres en 5 mètres tout le radier au-dessous des pierres de taille et réunissant deux cours de ventrières extérieures aux pieux et palplanches. En outre, des barres verticales, noyées à leur base dans le béton, sont placées, à des distances de $3^m,30$, dans la série des pierres de coussinets et réunies, à leur partie supérieure, par trois barres de fer transversales qui assemblent les barres verticales, d'une part, entre elles, de l'autre, avec les moises d'amont et d'aval de l'enceinte. Enfin, ces mêmes montants sont encore réunis parallèlement au barrage par deux autres séries de barres de fer, pourvues d'œils distants de $3^m,30$, maintenues par des écrous aux sommets des montants et encastrées dans les pierres de coussinets.

Les fermettes mobiles établies dans le système de M. Poirée sont espacées de $1^m,10$; elles ont $3^m,35$ de hauteur, $2^m,48$ à la base, $1^m,40$ au sommet. Leur base est en fer rond de 6 centimètres de diamètre; les montants et la traverse supérieure sont en fer à T ayant 6 centimètres de côté et autant de nervure; les deux entretoises horizontales sont en fer à croix dont l'âme a 12 millimètres et les côtés 6 centimètres; le bracon, également en fer à croix, a une âme de 25 millimètres d'épaisseur et 6 centimètres de côté. Les quatre angles du trapèze sont consolidés par des équerres en fer forgé; les deux équerres

supérieures sont rapportées et pourvues de goujons verticaux; les deux équerres inférieures font corps avec la base. Le poids de chaque fermette est de 212 kilogrammes.

Les crapaudines d'amont sont encastrées dans les pierres du seuil et maintenues par un tire-fond; celles d'aval sont isolées et fixées aux pierres de taille par trois écrous vissés sur autant de forts goujons scellés dans le radier.

Les fermettes sont maintenues debout et reliées, à leur sommet, par des barres ou griffes, en amont et en aval. Les griffes d'amont, qui supportent les aiguilles, sont composées de deux fers plats rivés l'un à l'autre; elles ont 8 centimètres sur 4 centimètres; elles sont symétriques et pourvues, à chaque extrémité, d'un œil dans lequel pénètre le goujon des fermettes : les griffes d'aval sont en fer rond.

Le pont de service est composé de trois cours de planches ayant ensemble 90 centimètres de largeur; leur longueur est de $3^{m},30$ et porte sur trois fermettes; ces planches sont armées de taquets inférieurs qui embrassent les fers à T et s'opposent au glissement et sont, en outre, maintenues par de petites griffes spéciales, dites *de passerelle*.

Les fermettes ne sont pourvues d'aucun système d'échappement; les aiguilles en sapin, de 4 mètres de longueur et 8 centimètres de côté, doivent être placées ou enlevées à la main, l'une après l'autre.

La dépense de ce barrage, y compris les terrassements, dragages, épuisements, travaux accessoires et en régie, s'est élevée à 708,000 fr., soit 4,050 fr. par mètre courant.

La construction a eu lieu de 1863 à 1866, sous la direction de MM. Beaulieu, ingénieur en chef, et Saintyves, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées.

XXI

AMÉLIORATION DE LA SEINE MARITIME,

DE ROUEN AU HAVRE.

Un dessin comprenant : deux plans d'ensemble à l'échelle de $\frac{1}{60000}$ (1 mètre pour 60,000 mètres).

Un profil en long comparatif :
à l'échelle de $\frac{1}{50000}$ (1 mètre pour 50,000 mètres) pour les longueurs;
à l'échelle de $\frac{1}{100}$ ($0^m,01$ pour 1 mètre) pour les hauteurs.

Entre Rouen et le Havre, la distance par eau est de 127 kilomètres : dans tout ce parcours, la navigation de la Seine est complétement libre; on ne trouve ni pont, ni écueil, ni obstacle d'aucune sorte qui puisse entraver la marche des navires. Partout, sauf au passage des Meules, entre la Mailleraye et Caudebec, à 62 kilomètres de Rouen, le tirant d'eau, même par les plus faibles pleines mers, dépasse 5 mètres; et encore, dans les Meules, le nombre de jours où, pendant l'année 1875, le mouillage a été inférieur à 5 mètres, n'a-t-il été que de douze jours.

En 1845, le port moyen des 4,795 navires chargés qui entrèrent à Rouen était de 102 tonnes. En 1875, le mouvement, à l'entrée, a été de 1,440 navires chargés de 416,833 tonnes de marchandises : le port moyen a ainsi atteint 289 tonnes par navire.

Dans cette même année 1875, Rouen a reçu : le 12 juillet, deux jours après le premier quartier de la lune, en morte eau par conséquent, un steamer chargé de

1,080 tonnes d'avoine, et tirant 5^{m},19; le 7 septembre, le jour même du premier quartier, un autre steamer chargé de 1,050 tonnes de marchandises, et calant 5^{m},33.

Enfin, les primes d'assurance qui, pour le seul parcours de la Seine, étaient autrefois de 1/2 p. 0/0, se traitent aujourd'hui, pour Rouen, exactement aux mêmes prix que pour le Havre.

Ces heureux résultats sont dus aux travaux que l'État a fait exécuter dans la Seine, à partir de 1848, et qui ont consisté à resserrer le lit du fleuve, au moyen de digues en enrochements parallèles à l'axe.

Ce système fut appliqué, pour la première fois, à la traversée de Villequier, l'un des passages les plus périlleux de la Seine : deux digues longitudinales, espacées de 300 mètres et arasées un peu au-dessus des hautes mers moyennes de vive eau, eurent pour effet de porter à 6^{m},50 au-dessous de ce niveau les profondeurs qui n'étaient auparavant que de 3^{m},50.

Ce succès ayant justifié les espérances des ingénieurs, les digues furent successivement prolongées, de 1849 à 1866, jusqu'à l'embouchure de la Risle, sur 32 kilomètres à l'aval de Villequier; de plus, en 1867, la digue sud fut établie sur 2 kilomètres à l'aval de la Risle. A l'amont de Villequier, sur 11 kilomètres de développement total, les digues furent exécutées par tronçons restreints, de 1852 à 1875, de manière à atteindre la Mailleraye, petit port fluvial situé à 60 kilomètres à l'aval de Rouen.

Quant à l'intervalle laissé entre les digues, il croît progressivement à partir de la Vaquerie, où la largeur du

chenal est encore de 300 mètres comme à Villequier, et atteint 450 mètres devant Quillebeuf et 500 mètres à Tancarville : de ce point jusqu'à la Risle, les digues sont exactement parallèles entre elles.

Entre la Risle et les grandes profondeurs de la mer devant le Havre, la Seine, abandonnée à elle-même, s'est régulièrement maintenue dans la partie méridionale de la baie, depuis l'hiver de 1871-1872.

Les rives du chenal navigable sont nettement indiquées au moyen de balises entretenues avec soin. Des bulletins, dressés tous les quinze jours, après les sondages, font connaître aux pilotes le nombre de mètres et de centimètres qu'il faut ajouter aux indications des sémaphores du Havre et de Honfleur, pour avoir, à un moment quelconque de la journée, la hauteur minimum de l'eau dans toute l'étendue du chenal.

Les digues ont toutes été construites au moyen de blocs, mesurant en moyenne 1/8 de mètre cube, extraits des coteaux crayeux qui bordent la Seine, et entassés les uns au-dessus des autres : les parements, à partir du niveau de la basse mer, et les couronnements ont seuls été arrimés à la main. Les digues ont, en général, 2 mètres de largeur en couronne; du côté de terre, leur talus est incliné à 45°; du côté du chenal, l'inclinaison a varié en raison de la nature du fond et de la violence des courants de flot et de jusant : elle a atteint, en certains points, jusqu'à 7 et 8 mètres de base par mètre de hauteur.

Les digues, en général, ont été exécutées au même niveau que celles de Villequier. Des essais de digues basses, arasées à 2 et 3 mètres en contre-haut des plus basses

eaux, ont été faits d'abord à l'aval de Tancarville, puis récemment entre la Mailleraye et Caudebec, sur la rive gauche du fleuve. Le second essai paraît devoir mieux réussir que le premier, sans doute à cause de la moindre agitation des eaux.

Depuis l'origine des travaux jusqu'au 31 décembre 1875, les dépenses de premier établissement et de grosses réparations se sont élevées à 16,860,000 francs, y compris une somme de 220,000 francs qui a été consacrée à l'approfondissement, par voie de dragages, du fond tourbeux de la passe des Meules.

Pour achever les réparations et mettre les digues à l'abri des attaques du fleuve et des atteintes de la gelée, il faudra dépenser encore environ 2,500,000 francs.

En outre, la passe des Meules devra être approfondie de manière qu'à la plus faible pleine mer le tirant d'eau soit de $5^{m},30$; la dépense de ce chef atteindra 150,000 francs.

Enfin, une somme de 4 millions de francs sera affectée, conformément à la loi du 14 décembre 1875, à la reconstruction des quais de Rouen, à l'achèvement de l'éclairage de la Seine et au redressement, par voie de dragages, des passages défectueux de Croisset et de Bardouville (4 et 25 kilomètres à l'aval de Rouen).

L'ensemble de toutes ces dépenses s'élèvera, en nombre rond, à 23,500,000 francs.

Outre l'approfondissement du chenal, la construction des digues a déterminé la formation d'environ 8,400 hectares de terrains d'alluvion, parmi lesquels 6,350 hectares constituent aujourd'hui d'excellentes prairies.

Ces terrains, au fur et à mesure de leur consolidation, sont remis aux anciens riverains du fleuve, moyennant payement à l'État d'indemnités fixées à la moitié des avantages acquis : la totalité des perceptions atteindra probablement la somme de 5 millions de francs.

La plus grande partie des travaux a été exécutée, de 1848 à 1869, sous la direction de MM. Doyat, Beaulieu, Emmery et du Boulet, ingénieurs en chef; MM. Partiot et Godot, ingénieurs ordinaires. De 1869 à 1875, le service a été dirigé par MM. Lemaître et Bellot, ingénieurs en chef, et Alard, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées.

XXII

PONT-CANAL SUR L'ALBE.

Modèle représentant deux travées, une culée et deux piles à l'échelle de $0^m,04$ (un vingt-cinquième).

Cet ouvrage, établi pour le passage du canal des houillères de la Sarre sur la rivière de l'Albe, a 45 mètres de longueur entre les culées; il comprend trois travées, l'une centrale de 17 mètres et deux extrêmes de $12^m,50$ d'ouverture. Les piles ont $3^m,50$ de hauteur au-dessous du couronnement et reposent sur un socle de 40 centimètres; leur épaisseur est de $1^m,50$ au sommet, $1^m,90$ à la base, $2^m,10$ au socle et $2^m,40$ au-dessous; elles sont surmontées de pilastres entre les faces intérieures desquels se trouve la bâche métallique. La longueur des piles est de $12^m,50$ au sommet et entre les faces externes des pilastres, de 14 mètres, avant-becs compris, au-dessous du couronnement, de $14^m,40$ à leur base et de 15 mètres au-dessous du socle.

La superstructure métallique a $47^m,60$ de longueur, 11 mètres de largeur entre les garde-corps, dont $6^m,80$ pour la voie d'eau et $2^m,10$ pour chaque trottoir ou chemin de halage. La cuvette en tôle qui forme la voie d'eau est rectangulaire, sauf les deux angles inférieurs arrondis en quart de cercle de 70 centimètres de rayon; elle a $2^m,55$ de hauteur et $6^m,80$ de largeur.

Les parois verticales sont constituées par deux poutres en double T régnant sur toute la longueur de l'ouvrage; l'âme de ces poutres a $3^m,05$ de hauteur et 1 centimètre d'épaisseur; les tablettes horizontales, de même épaisseur

et de 40 centimètres de largeur, lui sont reliées haut et bas par deux cours de cornières; ces tôles, au droit des piles, sont doublées sur $3^{m},80$, triplées sur $2^{m},60$ et quadruplées sur $1^{m},50$ de longueur; au milieu de la travée, elles sont aussi doublées sur 6 mètres et triplées sur 1 mètre de longueur. Les tablettes font saillie sur l'âme de 14 centimètres à l'intérieur et de 26 centimètres à l'extérieur. Une série de contre-forts verticaux sert également à renforcer chaque poutre; ces contre-forts sont appliqués sur la face externe à des distances de $1^{m},40$, réduites à 43 centimètres seulement au droit des piles et à 70 centimètres sur les culées; ils sont constitués par des fers spéciaux, également en double T, de $3^{m},05$ de hauteur, dont l'âme a 26 centimètres et les branches 15 centimètres, et se trouvent compris entre les saillies externes des tablettes horizontales des poutres.

La paroi horizontale qui forme le fond a 8 millimètres d'épaisseur; elle se relève auprès des poutres, de manière à se raccorder avec la paroi verticale suivant un quart de cercle de 70 centimètres de rayon. Elle est supportée par trente-cinq entretoises et trois cours de longrines.

Les entretoises horizontales, espacées de $1^{m},40$, ont 50 centimètres de hauteur, sauf près des poutres, où elles se relèvent en quart de cercle pour épouser la forme arrondie des angles inférieurs de la cuvette, ce qui porte à $1^{m},20$ la hauteur de leur assemblage avec la partie inférieure des poutres et des contre-forts extérieurs. Elles sont en double T avec âme de 50 centimètres de hauteur et tablettes horizontales de 22 centimètres de largeur; la tablette inférieure est doublée sur 4 mètres de longueur:

l'âme est réunie aux tablettes, haut et bas, par une double série de cornières. Enfin, trois cours de longrines, encore en fer double T de 18 centimètres de hauteur, distants de $1^{m},70$ d'axe en axe, relient les parties supérieures des entretoises et se prolongent même jusqu'à leurs tablettes inférieures par des tôles trapézoïdales.

La cuvette a $6^{m},80$ de largeur et $2^{m},55$ de hauteur; le tirant d'eau y est de $1^{m},80$, inférieur de 75 centimètres à la tablette des grandes poutres. Ses parois sont préservées du contact des bateaux par des poutres flottantes en sapin, suspendues à de petites chaînes et régnant sur toute la longueur de l'ouvrage; des tampons en liége et cordages sont, de plus, interposés entre ces pièces de sapin et les tôles pour amortir les chocs. Enfin, une lisse en fer rond, fixée sur l'arête interne de la tablette supérieure des grandes poutres, éloigne les traits des bateaux des angles vifs qui pourraient les couper.

Les chemins de halage, de $2^{m},10$ de largeur, dont $1^{m},80$ de voie libre, sont placés en encorbellement sur chaque tête et supportés par de grandes consoles en fer double T, ayant la forme d'un quart de cercle de $1^{m},80$ de rayon, prolongé verticalement à sa partie inférieure de 40 centimètres. Toutes les consoles sont reliées entre elles par une poutre longitudinale en double T, de 50 centimètres de hauteur et 20 centimètres de largeur, qui supporte le garde-corps et encastre la chaussée; elles sont contreventées, en outre, par une série de croix de Saint-André horizontales, en fer méplat de 8 centimètres sur 1 centimètre, qui relient leurs extrémités de deux en deux en se croisant sur la console intermédiaire.

Sur ces consoles repose une série de poutrelles double T, de $1^m,80$ de longueur et $0^m,20$ de hauteur, servant de retombées à de petites voûtes en briques de $1^m,40$ d'ouverture sur $0^m,14$ de flèche et $0^m,11$ d'épaisseur, qui supportent une chaussée de $0^m,20$ en béton maigre, encaissée entre deux caniveaux en pierre de taille percés d'un certain nombre de trous pour l'écoulement des eaux pluviales. Les grandes poutres de la cuvette s'élèvent de $0^m,25$ au-dessus des chemins de halage, formant ainsi une banquette de sûreté garnie intérieurement d'un heurtoir en bois empêchant tout contact entre les tôles et les jambes des chevaux.

L'ensemble est complétement isolé des maçonneries et repose sur les points d'appui par des chariots de dilatation composés de huit rouleaux métalliques de $0^m,12$ de diamètre, dont les axes sont enchâssés dans un même cadre; ces rouleaux sont compris entre une plaque de fonte fortement scellée sur chaque pile ou culée, et une seconde plaque dans laquelle est ménagé un encastrement qui reçoit la tablette inférieure de la grande poutre; cette plaque est elle-même composée de deux parties assemblées à rainures entre lesquelles passent quatre coins en acier servant à régler la position des poutres sur chaque support.

La charpente métallique de la cuvette se prolonge un peu au delà des chariots de dilatation de chaque culée et pénètre de $0^m,50$ dans les maçonneries, dont elle est partout distante de $0^m,06$; cet espace a été rempli d'étoupes goudronnées pour en assurer l'étanchéité. Dans cette petite chambre d'étanchement, la section de la cuvette est complétement rectangulaire.

Pour isoler la bâche du restant du canal, afin d'en faciliter la visite et la réparation, on a ménagé dans les maçonneries des culées des rainures verticales permettant d'établir un barrage à poutrelles et un petit aqueduc avec vanne de décharge.

L'ensemble de la bâche, sauf les consoles en encorbellement, a été complétement monté aux abords du pont et mis en place en le faisant arriver tout d'une pièce sur des galets fixes en fonte; cinquante hommes ont effectué ce travail en deux jours à l'aide de leviers.

Sous la charge permanente résultant de la mise en eau et sous la surcharge d'épreuve de 200 kilogrammes par mètre carré, les efforts maxima des fers sont de 4 kilogrammes par millimètre carré dans les pièces travaillant à la flexion et de $4^{kg},50$ dans celles travaillant à l'écrasement. Lors de la mise en eau, on a constaté que les grandes poutres avaient fléchi de $0^{m},005$ dans la travée centrale et de $0^{m},003$ dans les travées de rive; que les entretoises avaient fléchi de $0^{m},0025$; que les parois latérales de la cuvette s'étaient rapprochées chacune de $0^{m},01$ de la verticale à leur partie supérieure.

La dépense totale s'est élevée à 148,000 francs, dont 98,000 (soit 2,060 francs par mètre courant) pour la superstructure métallique, à raison de 51 centimes par kilogramme de fer et de 35 centimes par kilogramme de fonte.

Les travaux ont été projetés et exécutés, de 1863 à 1866, par MM. Bénard, ingénieur en chef, et Chigot, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées.

QUATRIÈME SECTION.

TRAVAUX MARITIMES,

PORTS DE MER.

XXIII

ÉCLUSE DE BARRAGE,

AU PORT DE DUNKERQUE.

Modèle représentant l'écluse avec portes et pont tournant à l'échelle de $0^m,04$ (un vingt-cinquième).

Cette écluse, de 21 mètres de largeur, n'a pas été pourvue de sas parce qu'elle doit donner passage aux plus grands navires que comporte le tirant d'eau du port, navires dont le creux ne permet l'entrée qu'au moment de la pleine mer.

Longueur de tête en tête, non compris les faux radiers.	$59^m,00$
Épaisseur du radier	3 ,00
Épaisseur maxima du haut radier au droit du busc...	4 ,60
Flèche et saillie du busc..... $0^m,35$ et	4 ,10
Longueur de l'enclave des portes.....	12 ,25
Profondeur de la même.....	1 ,70
Hauteur du couronnement par rapport au radier d'aval.	8 ,09
Tirant d'eau en vives eaux.....	6 ,35
Tirant d'eau en mortes eaux.....	5 ,35

L'épaisseur des bajoyers est de $3^m,60$ au sommet et de $5^m,35$ au radier; la différence est rachetée par cinq retraites horizontales; les murs de quai ont $2^m,50$ au sommet et $4^m,70$ à la base.

L'écluse a été fondée sur un sol composé de sable fin, dans une enceinte de pieux et palplanches. Le radier, appareillé en arc de 21 mètres de corde et $1^m,15$ de flèche, repose sur un pilotage général en chêne, composé de pilots de 3 mètres de longueur, espacés de 2 mètres en tous sens; leur tête est noyée de $0^m,40$ dans un massif de béton de $1^m,80$ d'épaisseur moyenne, qui constitue la couche inférieure du radier. La couche supérieure a $1^m,20$, dont $0^m,85$ en briques et $0^m,35$ en pierres de taille. Toutes les maçonneries de remplissage sont en briques du pays; tous les parements, ainsi que le dallage du radier, sont en calcaire de Marquise (Pas-de-Calais), dont le modèle offre un échantillon.

Les faux radiers ont 8 mètres de longueur chacun. Celui d'amont est composé d'une couche d'argile de $1^m,40$ d'épaisseur, protégée par un plancher jointif fixé sur les moises de trois files de pieux isolés. Celui d'aval est composé d'une couche d'argile, d'un lit de fascinages, d'une couche de blocailles et, enfin, d'une dernière couche en libages. Son épaisseur totale moyenne est de $1^m,60$. Des lignes de pieux et palplanches protégent les têtes des faux radiers.

L'écluse est fermée par une paire de portes d'èbe contre-butées par des portes-valets.

Chaque vantail des portes d'èbe a $11^m,682$ de largeur, $8^m,34$ de hauteur et $0^m,90$ d'épaisseur au milieu. L'ossature comprend le poteau tourillon, de $0^m,60$ sur $0^m,55$, le poteau busqué, de $0^m,57$ sur $0^m,53$, deux traverses, inférieure et supérieure, de $0^m,43$ et $0^m,45$ de hauteur, et neuf entretoises en sapin rouge du Nord. Les pièces horizontales sont convexes vers l'amont.

Les traverses sont composées chacune de trois pièces assemblées à redans et boulonnées de façon à former une poutre armée. Chaque entretoise, de $0^m,72$ d'épaisseur au milieu, comprend deux pièces semblables. La hauteur des quatre entretoises inférieures est de $0^m,35$, celle des cinq autres de $0^m,30$. Leur espacement, de $0^m,25$ pour les quatre intervalles inférieurs, s'élève graduellement de $0^m,275$ à $0^m,50$.

Un bracon double de $0^m,40$ sur $0^m,25$ d'équarrissage, moisant les pièces horizontales, et s'appuyant sur le pied du poteau tourillon, et deux écharpes doubles en fer, de $0^m,13$ sur $0^m,03$ avec écrous de serrage à la partie supérieure, partant, l'une de la tête du poteau tourillon, l'autre du sommet du bracon, assurent la rigidité du vantail et l'empêchent de donner du nez.

Cinq couples de pièces verticales jumelles, de $0^m,30$ sur $0^m,25$ et $0^m,10$ d'équarrissage, embrassant comme des moises les pièces horizontales, renforcent le milieu du vantail et reportent sur le busc une portion de la pression, en déchargeant d'autant les entretoises; chaque face a reçu un bordage en sapin, de $0^m,12$ d'épaisseur, en amont; en chêne, de $0^m,06$, en aval.

Chaque vantail est pourvu de trois vannes en bois à jalousies, ouvrant chacune un débouché de 1 mètre de hauteur sur $0^m,90$ de largeur, et manœuvrées par des crics à double noix.

Les portes d'èbe se manœuvrent au moyen de chaînes amarrées sur chaque face des poteaux busqués, et de treuils disposés à cet effet sur les terre-pleins correspondant aux enclaves. De petits verrins appliqués sur les faces

en retour des enclaves soutiennent les portes busquées ouvertes et les empêchent de se déplacer par l'effet des mouvements de la mer.

Les portes-valets sont construites suivant les mêmes principes que les portes d'èbe. Chaque vantail a la forme d'un cadre trapézoïdal en chêne du pays, ayant une largeur de $11^m,27$, une hauteur de $8^m,40$ à une extrémité, de $6^m,30$ à l'autre; il y a cinq entretoises intermédiaires dont la largeur est de $0^m,45$ et l'épaisseur variable de $0^m,30$ à $0^m,45$: leurs distances, mesurées le long du poteau tourillon, sont successivement de $2^m,75$, $0^m,63$, $0^m,64$, $0^m,30$, $0^m,55$, $0^m,66$.

Un bracon double en chêne, de $0^m,40$ sur $0^m,15$, formant moises, et deux écharpes doubles en fer de $0^m,13$ sur $0^m,03$, assurent la rigidité du cadre, consolidé, en outre, par deux pièces verticales jumelles de $0^m,35$ sur $0^m,15$ et par diverses ferrures.

Les travaux de l'écluse de barrage ont été exécutés de 1856 à 1860.

Les dépenses totales, non compris le pont tournant, mais en y ajoutant celles de 160 mètres de quais aux abords, se sont élevées à la somme de 1,331,214 fr. 39 c. ainsi décomposée :

Écluse et murs de quai.....	1,257,623f54c
Portes busquées et valets.....	67,316 40
Appareils de manœuvre.....	6,274 35

Les travaux ont été projetés et exécutés sous la direction de MM. Cuel et Decharme, ingénieurs en chef, et Plocq, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées.

XXIV

PORT DU HAVRE.

BASSIN DE LA CITADELLE.

Dessins à des échelles variant de $0^m,001$ à $0^m,04$.

Ce bassin comprend deux darses qui communiquent, d'un côté avec l'avant-port par un sas éclusé, de l'autre avec le bassin de l'Eure par une écluse simple; trois formes de radoub de dimensions graduées; deux écluses de chasse.

Les trois écluses de navigation ont uniformément 16 mètres de largeur mesurée au niveau du couronnement des murs de quai du bassin à flot; les bajoyers ont été inclinés au huitième.

Le seuil ou haut radier de l'écluse d'aval du sas a été placé au niveau même du plafond de l'avant-port, soit à $1^m,65$ en contre-bas du zéro des cartes marines. Comme le repère d'ouverture et de fermeture des portes de cette écluse a été fixé à $5^m,30$ au-dessus du seuil, les navires tirant 5 mètres d'eau peuvent entrer dans le sas, et de là passer dans l'un quelconque des bassins à flot, quatre heures et demie après le plein de la mer, c'est-à-dire trois heures environ après la fermeture des écluses de marée. Au départ, les avantages sont analogues; et, en fait, les navires sortent du sas au moment même où les steamers qui stationnent dans l'avant-port prennent la mer.

Il eût été inutile de donner aux écluses d'amont du

sas et de communication avec le bassin de l'Eure la même profondeur qu'à l'écluse d'aval du sas; la hauteur en a été réduite de $2^m,30$ et leur seuil a été arasé à $0^m,65$ en contre-haut du zéro des cartes; de sorte que, par les plus faibles pleines mers de morte eau, les navires de 5 mètres de calaison peuvent librement franchir ces écluses.

Le sas a 80 mètres de longueur sur 55 mètres de largeur et ses murs de quai ont $11^m,30$ de hauteur normale au-dessus de la fondation. Le plafond du sas est placé à $0^m,50$ en contre-bas du seuil de l'écluse d'aval; et, grâce à cette disposition, les vases que le flot apporte dans le port pourront se déposer au fond du sas, sans que, de longtemps, il soit nécessaire de recourir à des dragages pour assurer les évolutions des navires. Le remplissage du sas s'effectue simultanément par quatre ventelles triples, ménagées dans les portes de l'écluse d'amont et par deux aqueducs, de $1^m,94$ de section chacun, qui s'ouvrent sur le haut radier; l'opération dure dix minutes en moyenne. Deux aqueducs, de la même section que les précédents, servent à vider le sas, c'est-à-dire à abaisser le plan d'eau à la cote $5^m,30$ au-dessus du haut radier de l'écluse d'aval; trente-cinq minutes sont nécessaires pour cette seconde opération.

Le bassin à flot est partagé en deux parties par un môle. La partie nord, qui sert de chenal d'évolution entre les bassins de l'Eure et de la Citadelle, a 110 mètres de largeur; la partie sud n'a que 80 mètres, et l'intervalle compris entre l'extrémité du môle et l'entrée des formes a 100 mètres. Les murs de quai ont uniformément 9 mètres de hauteur au-dessus de la fondation. Le pied

des murs et le plafond du bassin se trouvent à $0^m,50$ en contre-bas du seuil des écluses d'amont du sas et de communication avec le bassin de l'Eure; conséquemment il s'écoulera un certain temps avant que les dépôts de vase qu'apporte la mer montante puissent entraver les évolutions des navires dans le bassin à flot.

Les trois formes qui constituent le nouvel établissement de radoub ont été construites sur la rive sud-ouest du bassin de la Citadelle. Elles ont respectivement 45, 55 et 70 mètres de longueur sur tins d'échouage; 11, 13 et 16 mètres de largeur à l'écluse d'entrée, mesurée au niveau du couronnement; 7 mètres, $7^m,50$ et 8 mètres de creux au-dessus du seuil ou haut radier de l'entrée; les bajoyers des écluses et les rives des formes sont inclinés au huitième.

Les formes sont fermées par des bateaux-portes en tôle, couronnés d'une passerelle et munis de vannes concourant à leur remplissage. Chaque forme est mise en communication directe, d'une part avec l'avant-port au moyen d'aqueducs fermés par de doubles vannes métalliques dont l'orifice s'ouvre au pied même du haut radier de l'écluse d'entrée, et d'autre part avec un puisard commun dans lequel fonctionne une pompe à vapeur.

En vive eau, les trois formes s'assèchent complétement à la basse mer au moyen des aqueducs qui débouchent dans l'avant-port. En morte eau, il n'en est plus ainsi et il reste à enlever par la pompe une tranche d'eau dont la hauteur est de $1^m,90$ pour la forme n° 1, de $2^m,40$ pour la forme n° 2, de $2^m,90$ pour la forme n° 3.

Les deux écluses de chasse sont placées l'une à côté de l'autre; elles s'ouvrent, dans le bassin de la Citadelle, entre l'écluse d'amont du sas et la forme n° 3, et dans l'avant-port près du musoir sud de l'écluse d'aval du sas. Chaque écluse a 6^{m},20 de largeur et 7 mètres de hauteur; elle est fermée par une porte tournante et par une paire de vannes levantes. Les portes s'ouvrent et se ferment par la seule action du courant; les vannes ont pour objet de soustraire les portes à l'agitation de l'avant-port.

Les radiers sont horizontaux et arasés à 2^{m},15 en contre-haut du zéro des cartes, sur 28 mètres de longueur à partir de la tête d'amont; puis ils s'inclinent suivant une pente régulière de manière à atteindre, à l'orifice d'aval, le niveau même du fond de l'avant-port (1^{m},65 en contre-bas du zéro). La différence totale de niveau, de l'amont à l'aval, s'élève ainsi à 3^{m},80. Outre le bassin de la Citadelle, le réservoir d'alimentation des chasses comprend le bassin de l'Eure, le dock-entrepôt et le bassin Vauban, soit en totalité 39 hectares de superficie. D'après cela, en abaissant de 1 mètre seulement la tenue des bassins, ce qui en vive eau ne gênerait en rien la navigation, les deux écluses de chasse permettraient de jeter à basse mer, dans l'avant-port, un volume de 390,000 mètres cubes d'eau.

L'écluse d'aval du sas et l'écluse de communication avec le bassin de l'Eure sont traversées, chacune, par un pont tournant métallique à une seule volée et à deux voies charretières. Chaque pont a 35^{m},17 de longueur, 6^{m},94 de largeur en œuvre et consiste en deux poutres de tête,

formant garde-corps, de hauteur croissante depuis les extrémités jusqu'au point de plus grande tension; ces poutres sont reliées transversalement par des poutrelles, renforcées de goussets et de contreventements, sur lesquelles est boulonné le plancher de bois croisé qui supporte la double voie charretière, les deux trottoirs et le bourrelet de séparation entre les deux voies.

Les portes des deux écluses du sas sont en charpente. Elles sont à doubles vantaux et formées d'un cadre en chêne dont les montants sont réunis par des entretoises en sapin. Sur les entretoises s'appuie un bordé rigide également en sapin. Outre les tenons d'assemblage, la liaison des diverses parties de l'ouvrage est assurée au moyen de cours de ceintures et d'une double écharpe en fer forgé.

Les portes d'amont ont $7^{m},40$ de hauteur; les portes d'aval, qui ont été arasées à $0^{m},50$ en contre-bas du dessus des portes d'amont, ont $9^{m},25$ de hauteur totale. Afin de les mettre à l'abri des attaques des vers marins, tous les bois ont été enduits d'une triple couche de peinture à base métallique et mailletés jusqu'au niveau correspondant à la pleine mer de morte eau.

Les portes tournantes et les vannes levantes des écluses de chasse sont également en charpente. Chaque porte tournante est formée d'un vantail de $5^{m},70$ de hauteur, sur $6^{m},16$ de largeur, partagé en deux parties inégales par l'axe vertical autour duquel s'effectue la rotation; la différence de largeur est de $0^{m},06$. Dans le plus grand côté se trouve ménagée une ventelle tournante dont les dimensions sont calculées de telle sorte qu'en l'ouvrant la

pression de l'eau devienne prépondérante sur le petit vantail de la porte principale.

Les bateaux-portes qui ferment les trois formes de la Citadelle ont été construits en tôle et cornières. Les membrures, formées de cornières, sont assemblées sur la quille et reliées par de fortes varangues, une carlingue, des ceintures longitudinales, un pont étanche, une passerelle et des croix de Saint-André. Sur les cornières, des feuilles de tôle rivées à clins constituent le bordé et assurent l'étanchéité de la coque.

Le pont étanche partage chaque bateau en deux parties distinctes. La partie inférieure, formant flotteur, contient le lest et doit être constamment à sec. Le lest est, d'ailleurs, réglé de telle sorte qu'abandonné à lui-même, le bateau flotte au niveau du pont étanche. La seconde partie peut à volonté être tenue à sec ou mise en communication avec l'eau du bassin à flot. A cet effet, deux ou trois vannes, suivant les dimensions du bateau, s'ouvrent de chaque côté de la coque, au niveau du pont étanche. Dans le même compartiment, et sous la passerelle, se trouve une caisse dont le fond est au-dessus des plus hautes marées et qui sert à recevoir l'eau destinée à faire couler le bateau.

Pour obtenir ce résultat, les vannes étant ouvertes, il suffit d'introduire de l'eau dans la caisse supérieure. Immédiatement l'équilibre est troublé; l'eau du bassin pénètre par les vannes dans le compartiment supérieur, au-dessus du pont étanche, et le bateau s'enfonce jusqu'à ce que le poids du volume déplacé par les tôles et les cornières soit égal au poids de l'eau introduite dans la

caisse; et, comme dans le cas le plus défavorable, le volume déplacé est très-peu important, il suffit, en définitive, d'une petite quantité d'eau pour échouer le bateau.

La dépense de cet ensemble d'ouvrages, en y comprenant la reconstruction du mur du quai Est de l'avant-port, ainsi que les frais d'étude et de surveillance, s'est élevée à 10,100,854 fr. 04 cent.

La construction a eu lieu de 1865 à 1871, sous la direction de M. Hérard, ingénieur en chef des ponts et chaussées, et de M. Bellot, comme ingénieur ordinaire.

XXV.

PORT DE BREST.

CAISSON DU BATARDEAU DU BASSIN DE BREST.

Dessins à des échelles variant de $0^m,004$ à $0^m,10$.
Une vue panoramique du port de Commerce.

En 1867, pour remplacer le plus ancien des bassins de Brest par un bassin de $112^m,70$ de longueur, $21^m,70$ de largeur d'écluse et $8^m,50$ de tirant d'eau sur le seuil de l'écluse dans les plus petites hautes mers de morte eau, on a été obligé de construire un batardeau, fondé à l'air comprimé à l'aide d'un caisson unique de 27 mètres de longueur sur $8^m,50$ de largeur et $10^m,50$ de hauteur, relié, à une de ses extrémités, à un mur de maçonnerie déjà fait et, à l'autre extrémité, au rocher naturel, et d'établir sur le tout un mur général.

Cet ouvrage a été remarquable par les dimensions exceptionnelles du caisson, par l'obligation de démolir l'ouvrage et de relever l'appareil et aussi par les difficultés résultant du mouvement de la marée.

A la partie inférieure du caisson se trouvait une vaste chambre de travail, fortement consolidée, et divisée, dans sa longueur, en trois parties égales munies chacune d'une cheminée surmontée d'un sas à air.

Au-dessus de cette première chambre, il s'en trouvait une seconde sur 21 mètres seulement de longueur, destinée à faciliter le démontage de la partie du caisson qui

devait être enlevée à la fin des travaux pour dégager l'entrée du bassin.

La partie inférieure, comprenant la première chambre de travail, devait, en effet, être descendue assez bas pour ne gêner en rien le passage des navires; en sorte qu'on a trouvé plus d'avantage à la conserver, comme mur de garde en avant du radier de l'écluse, qu'à l'enlever. Tel est le motif qui a fait admettre cette disposition d'une double chambre de travail et d'nn caisson en deux parties, dont une formant elle-même un caisson indépendant et reliée à l'autre par des boulons.

Au-dessus de la seconde chambre de travail se trouvait le compartiment à air libre, formant une enceinte qu'on pouvait rendre étanche quand on le voulait et dans laquelle il était possible de travailler à la marée et par épuisements. Ce compartiment était aussi divisé en deux parties, l'une de 21 mètres de longueur correspondant à la portion du caisson qui devait être enlevée, et l'autre de 6 mètres, engagée dans l'alignement du mur de quai et destinée à rester en place. A chacune de ses extrémités, on avait ménagé trois grandes rainures, de 1 mètre carré de section, qui descendaient verticalement jusqu'au plafond de la chambre inférieure et dont la face opposée au rocher se prolongeait, à partir de ce point, par un plan incliné, de manière à venir se raccorder avec la tranche du caisson.

Ces rainures étaient ouvertes du côté qui fait face au rocher; elles étaient destinées, en y coulant du béton, à établir une liaison étanche entre le caisson et la paroi de ce rocher. Un regard pratiqué à leur partie inférieure,

dans la face inclinée dont on vient de parler, avait été ménagé pour nettoyer les rainures par la chambre de travail avant d'y couler le béton.

Ce caisson, monté en juillet 1867, dans un des bassins de radoub du port de Brest, pesait 170 tonnes une fois terminé. En septembre, on l'a amené en place, lesté d'une certaine quantité de maçonnerie qui portait son poids à 240 tonnes; on l'a conduit, comme un véritable bateau, à l'emplacement qu'il devait occuper, et il a été échoué dans la position exacte qui lui était assignée.

Au début du fonçage, les oscillations de la marée ont gêné considérablement le travail, jusqu'au moment où le caisson a été suffisamment chargé pour qu'il fût possible d'injecter l'air et de travailler d'une manière continue dans la chambre. Deux souffleries, établies à terre et mues par une machine de 30 chevaux, envoyaient dans la chambre de travail 400 mètres cubes d'air environ par heure.

Une locomobile, également placée à terre, faisait mouvoir, au moyen de cordes et de poulies de transmission, les trois monte-charges établis dans les cheminées.

Les déblais extraits de la chambre de travail étaient rejetés dans des gabares accostées le long du caisson.

Pour éviter l'écrasement de la tranche par l'effet de la surcharge provenant de la maçonnerie, on a soutenu le caisson dans l'intérieur de la chambre de travail par des étais reposant à leur partie inférieure sur le rocher et qui étaient serrés à leur partie supérieure contre le plafond au moyen de coins et de semelles en bois.

Les maçonneries situées au-dessus de la chambre de travail ont été exécutées à la marée avec un mortier composé

de 1 mètre cube de sable pour $0^{mc},55$ de chaux hydraulique et de 100 kilogrammes de ciment de Portland.

Le remplissage de la chambre de travail a été effectué en maçonnerie avec mortier composé de 1 mètre cube de sable pour $0^{mc},45$ de chaux hydraulique et de 200 kilogrammes de ciment de Portland.

La portion du batardeau située au-dessus du bord supérieur du caisson a été faite sans difficulté à la marée. Les soudures du caisson avec les rives ont nécessité des soins tout particuliers, et l'emploi du scaphandre pour nettoyer parfaitement les rainures.

Ce batardeau a été terminé et livré en avril 1868. Le débit des filtrations n'était que de 10 mètres cubes par heure.

En avril 1869, les travaux du bassin étant eux-mêmes achevés, on a pu s'occuper de la démolition et de l'enlèvement du batardeau.

Pour cela, avant de laisser rentrer l'eau dans le bassin et à la faveur des épuisements que l'on continuait à y faire, on a commencé par détacher, aussi complétement que possible, la partie du caisson qui devait être enlevée, des maçonneries auxquelles elle adhérait. Ce résultat a été obtenu en ouvrant, aux deux extrémités de cette partie du caisson, deux petites galeries que l'on a poussées, sans qu'il en résultât de filtrations excessives, jusqu'à $0^{m},50$ environ du parement extérieur.

Puis on a laissé rentrer l'eau dans le bassin. On a démoli à la marée montante les maçonneries situées au-dessus du caisson.

Celles qui se trouvaient dans le compartiment à air libre

ont été aussi démolies à la marée, mais à l'aide de pompes d'épuisement.

La démolition des maçonneries de la seconde chambre de travail a été commencée à l'air libre. On y a ouvert une galerie longitudinale avant de replacer les sas à air sur les cheminées, puis on a replacé ces sas et on a continué à l'air comprimé. On a enfin enlevé toute la maçonnerie que l'on voulait faire disparaître.

Le caisson se trouvant soulagé d'un poids suffisant, on a retiré tous les boulons qui le retenaient et on l'a fait flotter, en épuisant dans le compartiment supérieur.

Cette opération a été exécutée le 26 juin 1869 avec un plein succès.

En somme, la construction du batardeau a duré sept mois et la démolition deux mois et demi.

Ces travaux ont été faits à forfait, au prix total de 376,000 francs, sans compter 4,640 francs pour extraction des bois, fers et autres matériaux étrangers qui se sont rencontrés sous la tranche du caisson.

L'exécution de ce travail a été dirigée par MM. Dehargne, ingénieur en chef, directeur des travaux hydrauliques, et Rousseau, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées.

Les entrepreneurs étaient MM. Castor et Hersent. Le caisson a été construit dans les ateliers de Fives-Lille de l'usine Cail et Cie.

XXVI

PORT DE SAINT-NAZAIRE.

Une vue perspective.

Le port de Saint-Nazaire, situé sur la rive droite de la Loire, à l'embouchure même du fleuve, est de création toute récente. Il y a trente ans, l'emplacement du bassin à flot était occupé par une anse où venaient stationner les bateaux des pilotes et des pêcheurs.

Au-devant du port s'étend une rade formée par un vaste élargissement du grand chenal de la Loire. On y trouve à mer basse de 8 à 15 mètres d'eau. Son fond, exclusivement composé de vase, présente une très-bonne tenue pour les ancres des navires. L'agitation n'y est jamais forte. Cette rade doit son calme aux bancs de sable et de rochers de l'embouchure, sur lesquels la mer vient se briser, et au môle construit à la pointe de la vieille ville.

A haute mer de morte eau, on trouve sur les passes de l'entrée de la Loire une profondeur d'au moins $7^{m},70$. En vive eau, elle est de $9^{m},20$.

Description générale du port. — Dans son état actuel, le port de Saint-Nazaire se compose d'un chenal bordé de jetées en charpente et aboutissant à deux écluses qui donnent entrée dans un bassin à flot entouré de quais.

Il n'existe pas d'avant-port. La rade en remplit les fonctions. Les navires viennent y mouiller à l'extrémité des jetées et se font ensuite haler le long du chenal. D'autres

fois, et si le bassin est ouvert, ils entrent directement dans le chenal et dans les écluses.

Nature du sol. — Le bassin et les écluses ont été établis dans une anse à fond de vase au-dessous de laquelle on trouvait à des profondeurs variables, mais toujours supérieures aux fondations, du rocher schisteux très-compacte. On les a construits à l'abri d'une digue d'enceinte exécutée avec des vases prises à son pied et formant batardeau. Son exécution a été difficile, mais elle a fini par très-bien résister à la mer avec un talus de 4 de base pour 1 de hauteur, simplement revêtu d'un perré.

Cette digue, élargie avec les déblais provenant du bassin, forme maintenant les terre-pleins sur lesquels on a élevé des cavaliers en terre servant à la fois de fortifications et d'abri contre le vent.

Cotes des principaux ouvrages et des marées. — Avant d'entrer dans quelques détails sur les différents ouvrages du port, il paraît utile de donner les cotes de ces ouvrages et celles des marées rapportées au nivellement général du port,

Couronnement des massifs élevés sur les bajoyers de la grande écluse et tablier des nouvelles jetées	10m,60
Couronnement des écluses et tablier des anciennes jetées.	13 ,60
Couronnement des quais des bassins	14 ,60
Haute mer de vive eau d'équinoxe	15 ,08
Haute mer de vive eau ordinaire	15 ,50
Haute mer de morte eau	17 ,00
Basse mer de morte eau	19 ,30
Basse mer de vive eau ordinaire	20 ,50
Zéro de l'Annuaire des marées	20 ,83
Basse mer de vive eau d'équinoxe	21 ,00
Zéro de l'échelle de Saint-Nazaire	21 ,10

Busc de l'écluse à sas de 13 mètres de largeur.....	23m,10
Fond de la partie sud du bassin de Saint-Nazaire.....	23 ,20
Fond de la partie nord-ouest de Saint-Nazaire.....	24 ,00
Busc de l'écluse de 25 mètres de largeur. (L'écluse à sas aura la même profondeur.).....	24 ,30
Fond de la partie nord-est du bassin de Saint-Nazaire.	24 ,50
Barre des charpentiers.....	24 ,73

Chenal. — Le chenal a été ouvert au travers d'une plage de vase qui découvre dans les grandes marées jusqu'à l'extrémité de la jetée sud et, sur la rive nord, jusqu'à une vingtaine de mètres en arrière du musoir, au pied duquel on trouve toujours à mer basse de 2 à 3 mètres d'eau.

Il est creusé et entretenu de manière à ce que les navires y trouvent toujours 7 mètres de profondeur à haute mer de morte eau.

Jetées. — Des jetées en charpente bordent les deux rives du chenal. Leurs fermes sont espacées de 3m,75 d'axe en axe. A l'intérieur comme à l'extérieur, le fruit est d'un dixième.

Le tablier a une largeur de 4m,50 qui se trouve réduite à 3m,36 entre les garde-corps. Il est au niveau du couronnement des écluses, soit à 1m,48 au-dessus des grandes marées d'équinoxe.

Toute la charpente est en bois de sapin de Prusse. Les vers tarets, qu'on ne connaissait pas autrefois à Saint-Nazaire, y ont apparu en 1859. Leurs ravages y sont assez considérables.

Dans toute la partie qui avoisine l'écluse, on a dû établir la jetée nord au-dessus de vases peu consistantes recouvrant, à une profondeur de plusieurs mètres au-des-

sous des basses mers, un rocher très-dur où les pieux ne peuvent pas pénétrer.

On adopta pour la fondation de cette partie de la jetée le système déjà employé pour les murs établis en prolongement des bajoyers des écluses. Les fermes furent fixées sur des puits carrés en maçonnerie de 6 mètres de côté, qu'on faisait descendre jusqu'au rocher par leur propre poids en enlevant par l'intérieur les vases sur lesquelles ils reposaient[1]. Ces puits, arasés à la cote (18 mètres), recevaient les semelles des fermes.

Ce mode de construction a très-bien réussi. Perfectionné et complété par l'emploi de l'air comprimé, il a été employé avec succès aux fondations de beaucoup de grands ponts et d'autres ouvrages analogues fondés au travers de mauvais terrains.

Écluses. — Deux écluses occupent le fond du chenal[1]. Elles ont été entièrement fondées sur le rocher. La plus grande, construite en vue des paquebots transatlantiques à roues, a 25 mètres de largeur. C'est une écluse simple à deux paires de portes, dont l'une sert de garantie pour les cas d'accidents ou de réparation. Au point le plus bas des buscs, qui affectent la forme d'un arc de cercle relevé de $2^m,50$ sur les côtés, on trouve, dans les plus faibles hautes mers, $7^m,30$ d'eau. En vive eau, la hauteur est de $8^m,80$.

La petite écluse a une largeur de 13 mètres; elle est munie d'un sas de 60 mètres de longueur qu'on peut faire

[1] Les détails de ces écluses et de ces puits se trouvent décrits dans la *Collection des dessins de l'École des ponts et chaussées*, t. Ier, p. 295 à 301.

fonctionner depuis la mi-marée montante jusqu'à la mi-marée baissante, c'est-à-dire pendant six ou sept heures. Les buscs sont horizontaux, et la mer y monte de $6^{m},10$ en morte eau et de $7^{m},60$ en vive eau.

Chaque fois que les mouvements d'entrée et de sortie des grands navires y obligent, l'écluse de 25 mètres peut rester ouverte pendant deux ou trois heures.

Exhaussement des bajoyers de la grande écluse. — Les couronnements des écluses sont à $1^{m},48$ en contre-haut des hautes mers de vive eau d'équinoxe. Pour faciliter le passage des paquebots transatlantiques, on a élevé sur les bajoyers de la grande écluse, et à l'aplomb des parements, des massifs en maçonnerie de 3 mètres de hauteur, destinés à guider les lisses de garde des porte-roues. Au-dessus du vide des chambres des portes, ces massifs sont remplacés par de fortes poutres en tôle formant passerelles et servant à diriger les tambours des paquebots.

Bassin à flot. — Les écluses débouchent au milieu du bassin à flot, dont voici les dimensions :

1re partie.....	Longueur.....	580^{m}
	Largeur.....	160
2e partie.....	Longueur.....	140
	Largeur.....	90

Sa superficie est de $10^{h},40$.

Toute la partie inférieure a été creusée à des profondeurs variables dans des gneiss schisteux, qui, simplement revêtus sur certains points de placages en maçonnerie, forment le noyau des murs de quai.

On maintient toujours les eaux du bassin à une profondeur égale ou supérieure à celles des faibles hautes

mers de morte eau cotées (17 mètres). A ce niveau, on trouve les profondeurs suivantes :

En face des écluses et du quai des Frégates	7m,50
Le long du quai de la Marine	7 ,10
Entre les quais de la Loire, de la Vieille-Ville et du Commerce	6 ,20
Entre les quais Watier, Henri Chevreau et Jégou, de 6m,20 à	7 ,00

Le bassin est entouré de vastes quais mis en communication avec la gare du chemin de fer par des lignes de rails.

Le port de Saint-Nazaire étant surtout un port de transit, presque toutes les marchandises passent directement des navires dans les wagons ou dans les gabares qui remontent à Nantes, et réciproquement.

Le développement total des quais est de 1,580 mètres. Une grande partie est occupée par des services publics et par la Compagnie générale transatlantique, à qui l'on a concédé les terrains situés en arrière du quai de la Marine et du quai Jégou. Elle y a établi les hangars, magasins, ateliers de réparation, parcs à charbon, etc., nécessaires pour assurer le service de ses deux lignes du Mexique et des Antilles.

Les 860 mètres de quais attribués au commerce sont complétement insuffisants pour ses besoins et motivent l'exécution d'un second bassin que la navigation attend avec une grande impatience.

Dévasement du port. — En se reportant au commencement de cette notice, on voit que le chenal du port de Saint-Nazaire a été ouvert artificiellement au milieu d'une plage de vase qui tend toujours à se reformer par les apports constants des marées. Il faut donc les combattre sans relâche, et ce problème a été résolu d'une manière aussi

satisfaisante et économique que possible à l'aide de bateaux pompeurs et porteurs, dont la machine s'attelle successivement sur les pompes et sur l'hélice qui fait mouvoir le bateau[1]. On conduit ce bateau en rade à 1,000 ou 1,500 mètres du port, et on le décharge en ouvrant des clapets.

Une drague ordinaire à godets sert à curer les parties du port où, par une cause ou une autre, les vases ne sont plus assez liquides pour être pompées, ce qui arrive dès que leur densité dépasse 1,200.

On est aujourd'hui parfaitement fixé sur l'importance et le prix de revient des travaux de dévasement du port. Pour l'entretenir à la profondeur normale que réclament les mouvements des grands navires, il faut enlever chaque année :

1° Dans le bassin (d'une superficie de $10^{h},40$)....	163,000^{mc} de vases.
2° Dans le chenal (d'une superficie de $1^{h},35$)...	193,000
Total.....	356,000^{mc} de vases.

Ce qui correspond à $1^{mc},55$ par mètre carré de bassin et à $14^{mc},27$ par mètre carré de chenal.

Les trois quarts de ces vases sont pompés; le reste est dragué.

Ces opérations s'exécutent aux prix suivants :

EXTRACTION ET TRANSPORT D'UN MÈTRE CUBE DE VASE POMPÉE.

Charbon, réparation du matériel et main-d'œuvre.....	$0^{f},15$
Intérêts et amortissement du matériel.....	0,24
Prix total de revient.....	$0^{f},39$

[1] Voir la description détaillée de ce bateau dans la *Collection des dessins de l'École des ponts et chaussées*, t. Ier, p. 34.

EXTRACTION ET TRANSPORT D'UN MÈTRE CUBE DE VASE DRAGUÉE.

Charbon, réparation du matériel et main-d'œuvre.....	0f,35
Intérêts et amortissement du matériel.....	0,37
Prix total de revient.....	0f,72

Ces frais d'entretien s'élèvent à environ 69,000 francs par an.

Dépenses. — Les dépenses auxquelles se sont élevés les travaux proprement dits du bassin de Saint-Nazaire se répartissent ainsi qu'il suit :

Digue d'enceinte.....	295,000f
Terrassements et maçonneries du bassin.....	5,424,000
Construction des jetées et creusement du chenal...	1,434,000
Portes d'écluses, vannes, etc.....	693,000
Travaux divers.....	280,000
Total.....	8,126,000f

Nouveaux travaux en cours d'exécution ou projetés. Bassin de Penhouet. — L'insuffisance du bassin à flot de Saint-Nazaire a été bientôt constatée, et l'on décida qu'un second bassin serait construit dans l'anse de Penhouet, à la suite du premier. La dépense est évaluée à 18,500,000 francs, et les travaux sont aujourd'hui en pleine activité.

Il n'a pas été possible de créer une entrée directe de la rade dans le bassin de Penhouet. Il eût fallu, pour arriver aux grandes profondeurs, s'avancer beaucoup vers le large, et la saillie produite par l'établissement de ce nouveau chenal aurait indubitablement envasé l'entrée actuelle. On ne pourra donc entrer dans le second bassin qu'en passant par le premier.

La digue de ceinture qui enveloppe et protége tout l'atelier a été fermée en 1865, et on l'élargit avec les déblais du bassin pour former les terre-pleins.

Écluse à sas. — La communication entre les deux bassins aura lieu au moyen d'une écluse à sas ayant, comme l'écluse actuelle, 25 mètres de largeur et $7^{m},30$ de profondeur d'eau en morte eau sur les buscs qui sont horizontaux.

Elle est munie de quatre paires de portes permettant de sasser dans les deux sens, afin d'être complétement maître du niveau des eaux dans le bassin de Penhouet et d'y prévenir les envasements. La longueur du sas est de 130 mètres.

Deux grands aqueducs de 2 mètres de largeur traversent les bajoyers d'un bout à l'autre et mettent en communication les deux bassins. Ils servent aux manœuvres du sas, avec lequel ils communiquent au moyen d'aqueducs secondaires. On y a ménagé des prises d'eau aboutissant à de petits systèmes d'aqueducs débouchant par des orifices de $0^{m},20$ de hauteur au niveau du fond des chambres des portes. Ils serviront à produire des chasses et permettront de supprimer le dévasement à bras.

Des ponts roulants en tôle servant à la fois au passage des voitures et des wagons sont établis aux deux têtes de l'écluse.

L'écluse est terminée. Elle sert, et servira jusqu'à l'achèvement du second bassin, de forme de radoub pour les grands paquebots.

Murs de quai. — Des murs de quai ne pourront pas être

établis sur tout le pourtour du bassin. La mauvaise nature du sous-sol ne permet pas d'en construire au passage de la vallée vaseuse qui traverse le bassin. Dans l'angle sud-est et au milieu du quai Ouest, les murs seront remplacés par des perrés reposant sur d'épais enrochements. Des appontements en charpente y faciliteront l'accostage des navires.

Les murs de quai ont 10^{m},40 de hauteur au-dessus du plafond du bassin. Ils sont tous fondés sur le rocher, mais dans des conditions très-variables. Tandis que quelques-uns d'entre eux se composeront d'un simple placage contre le rocher, les autres devront aller le chercher à 10 mètres et même 12 mètres de profondeur au-dessous du plafond du bassin. Dans ces derniers cas, on les construira sur arcades, et l'on fondera les piles sur des puits coulés analogues à ceux de la jetée Nord.

Formes de radoub. — Trois formes de radoub fondées sur le rocher doivent être établies au fond du bassin de Penhouet avec les dimensions suivantes :

FORMES.	LARGEUR de L'ENTRÉE.	LONGUEUR.	PROFONDEUR au-dessous des hautes mers de morte eau.
N° 1	25^{m},00	135^{m}	7^{m},30
N° 2	16 ,00	115	5 ,50
N° 3	13 ,00	95	3 ,50

Prise d'eau. — En créant à Saint-Nazaire un second bassin deux fois plus étendu que le premier, il fallait cher-

cher à en réduire l'envasement aux plus faibles proportions.

Dans ce but, on l'alimentera au moyen d'une prise d'eau spéciale débouchant en rade et munie de vannes qu'on ne fera fonctionner que rarement, deux ou trois fois par mois, en choisissant des temps calmes où les eaux des couches supérieures sont très-peu chargées de vase.

La prise d'eau aura 30 mètres de largeur, et les vannes se manœuvreront par abaissement de manière à ne prendre que l'eau de superficie jusqu'à la profondeur que l'on jugera convenable.

Chantiers de construction. — On a réservé entre le bassin et la rade des espaces suffisants pour établir des chantiers de construction. Une partie est déjà occupée par ceux de la Compagnie générale transatlantique qui y a fait construire cinq de ses grands paquebots en fer.

Dépenses. — Les dépenses du bassin de Penhouet ont été évaluées à 18,500,000 francs; elles se décomposent de la manière suivante :

Acquisitions de terrains	2,035,400f
Digue de ceinture	500,000
Terrassements	3,800,000
Écluse à sas de 25 mètres de largeur	2,900,000
Murs de quai et perrés à l'intérieur du bassin	4,250,000
Prise d'eau	500,000
Trois formes sèches	2,800,000
Travaux divers	600,000
Emploi de l'écluse à sas comme forme provisoire	250,000
Frais généraux et dépenses imprévues	864,600
Total	18,500,000

Les ingénieurs qui ont concouru successivement à la rédaction des projets et à l'exécution des travaux du port de Saint-Nazaire sont : MM. Cabrol et Plantier, ingénieurs en chef directeurs; A. Jégou, Chatoney et de Carcaradec, ingénieurs en chef; de la Gournerie, A. Watier, Leferme, Révol et Pocard-Kerviler, ingénieurs ordinaires des ponts et chaussées.

M. Morel (Joseph) n'a pas cessé d'être attaché à ces travaux comme conducteur, depuis leur origine.

XXVII

PORTES DE L'ÉCLUSE DE SAINT-NAZAIRE.

(LOIRE-INFÉRIEURE.)

Un modèle à l'échelle de $0^m,1$ (un dixième).
Un dessin à l'échelle de $0^m,1$ (un dixième).

Le port de Saint-Nazaire a deux écluses de 25 mètres de largeur.

La première, qui met le bassin de Saint-Nazaire en communication avec la rade, est munie de deux paires de portes en bois; la seconde, qui fera communiquer ultérieurement le bassin de Saint-Nazaire avec le bassin de Penhouet, aujourd'hui en construction, est munie d'une paire de portes métalliques. Cette écluse est provisoirement utilisée comme forme de radoub.

Le maximum de la charge que les deux paires de portes en bois ont à supporter est de 6 mètres, chiffre égal à la différence de niveau entre la haute mer et la basse mer de vive eau d'équinoxe.

Les portes métalliques ont à supporter, au moment des grandes marées, une hauteur d'eau de 10 mètres, quand la forme de radoub est à sec. Cette différence de pression a conduit à leur donner une plus grande résistance.

Toutefois, comme ces portes ont sensiblement les mêmes dimensions en hauteur et en largeur, il en résulte une comparaison intéressante entre les deux systèmes.

§ I. — Portes en bois.

Dimensions principales. — Chacun des vantaux des portes de l'écluse d'entrée de 25 mètres d'ouverture du port de Saint-Nazaire a $15^m,96$ de largeur totale et 10 mètres de hauteur.

L'épaisseur aux poteaux est de $0^m,60$ et celle au milieu de $1^m,60$. La face d'aval est plane, la face d'amont est courbe et tracée suivant un arc de cercle concentrique à celui qui passe par l'angle intérieur des chardonnets et la pointe du busc.

Composition de la porte. — Chaque vantail est composé de seize entretoises en bois formées d'un entrait de $0^m,40$ et de quatre pièces courbées à l'étuve, de $0^m,20$ d'épaisseur. Les deux pièces courbes intérieures viennent buter contre l'entrait par l'intermédiaire de plaques en tôle renforcées par des cornières; les deux autres sont prolongées jusqu'aux extrémités de cet entrait. Un système de tasseaux, d'étriers et de boulons, complète chaque entretoise qui n'est en définitive qu'une poutre armée.

Treize des entretoises, qui n'ont que $0^m,37$ d'épaisseur, sont superposées sur une hauteur de $4^m,80$ à la partie inférieure du vantail; les trois autres qui ont $0^m,40$ d'épaisseur sont respectivement espacées de $0^m,95$, $0^m,90$ et 2 mètres. Des calages en bois et des cadres en fer forgé maintiennent l'écartement de ces dernières. Quinze clefs verticales, battues à la sonnette après la pose des entretoises supérieures, complètent la charpente.

Il n'y a point, à vrai dire, de poteaux busqués et tourillons. Les entretoises sont prolongées dans toute la lon-

gueur du vantail et simplement enveloppées aux abouts par des anneaux en tôle de $0^m,010$ d'épaisseur, rendus solidaires au moyen de plaques de jonction intérieures, consolidés par des fonds également en tôle et reliés d'un poteau à l'autre par trois entretoises en métal, dont les deux premières enveloppent la partie pleine des portes et dont la dernière repose sur l'entretoise en bois supérieure.

Les tourillons en fonte, engagés et boulonnés dans les entretoises extrêmes, sont en outre rivés aux derniers anneaux du poteau.

Un bordage vertical en madriers de $0^m,086$ d'épaisseur règne sur toute la face courbe d'amont, et un bordé étanche en tôle de $0^m,005$ d'épaisseur est enfin établi sur la face plane d'aval entre les deux entretoises en tôle supérieures.

L'idée véritablement nouvelle que présentent les portes de Saint-Nazaire est celle de la suppression des poteaux tourillons et busqués. Il résulte de cette suppression qu'on n'a plus à se préoccuper de la recherche de bois tout spéciaux, et d'un prix très-élevé, pour les portes d'écluse à grande ouverture et à grand tirant d'eau. On n'a plus besoin que de bois résineux de dimensions qui n'ont rien d'exceptionnel. L'idée de chercher à obtenir les liaisons verticales, au moyen de clefs intérieures aux vantaux, paraît également bonne, mais elle avait déjà été appliquée aux portes d'une écluse de $16^m,50$ d'ouverture.

Les portes construites en 1856 ont été exécutées entièrement en bois de sapin de Prusse; celles de 1858 l'ont été en bois de pitchpine.

Dépenses. — Le prix de la paire de portes de 1858,

construite en régie, s'est élevé, y compris le mailletage, à la somme de 220,000 francs.

Les deux paires de portes de l'écluse de 25 mètres d'ouverture du port de Saint-Nazaire ont été construites dans le même système, la première, en 1856, par feu M. l'ingénieur des ponts et chaussées Alexandre Watier et sur ses dessins; la seconde, par M. Leferme, ingénieur des ponts et chaussées, en 1858.

Les travaux ont été commencés sous la direction de M. Jécou, ingénieur en chef des ponts et chaussées. Ils ont été continués et achevés sous les ordres de M. Chatoney, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

§ II. — Portes métalliques de l'écluse de Penhouet, provisoirement utilisée comme forme de radoub.

Dimensions principales. — Ces portes, en métal, ont la même forme et les mêmes dimensions principales que les portes en bois précédemment décrites, à cette seule différence près que leur hauteur est de $10^m,25$ au lieu de 10 mètres.

Composition de la porte. — Chaque vantail est composé de douze entretoises, de trois poutres verticales formant poteaux montants, et de deux autres poutres verticales vers les extrémités, tenant lieu de poteau tourillon et de poteau busqué.

Les entretoises sont distantes l'une de l'autre de $0^m,90$ d'axe en axe; elles ont la forme d'une poutre double T. L'âme de la poutre est constituée par une tôle de $0^m,02$ d'épaisseur pour les deux entretoises extrêmes, et de $0^m,015$ pour les dix entretoises intermédiaires. Les semelles sont formées de deux cornières de $0^m,160$ sur

$0^m,110$ et $0^m,016$, de la tranche correspondante du bordé qui a $0^m,010$ d'épaisseur, et de la bande servant de couvre-joints au bordé, qui a $0^m,335$ de largeur sur $0^m,015$ d'épaisseur.

Les poteaux montants ont une disposition analogue : toutefois la poutre n'est pas continue, mais elle est composée de tronçons rectangulaires successifs, rivés les uns au bout des autres, dans le même plan vertical, avec interposition des âmes des entretoises qu'ils rencontrent; en outre les deux semelles de la poutre ne sont pas parallèles; enfin l'âme est percée d'évidements elliptiques dans chacun des intervalles qui séparent deux entretoises successives, pour permettre de circuler d'un bout à l'autre de l'entretoise, et d'aller ainsi gratter et peindre tout l'intérieur du vantail.

Le bordé est continu et règne sur tout le pourtour de l'ossature. Il est formé de feuilles de tôle de $0^m,010$ d'épaisseur couvrant exactement chacune un des espaces rectangulaires, et découpé par les entretoises et les poteaux montants. Cinq files verticales de cadres en cornières de $0^m,060$ sur $0^m,060$ à $0^m,009$, régulièrement espacées entre deux poteaux montants successifs, servent d'appuis intermédiaires aux feuilles du bordé.

Lest. — Chaque vantail pèse dans l'air 140 tonnes. Il flotterait dans l'eau avant d'être complétement immergé, d'où la nécessité de le lester. Il est, à cet effet, divisé en deux compartiments étanches par la quatrième entretoise, à partir du haut.

Le compartiment supérieur sert de caisse à lest, et ce dernier est fourni par l'eau même dans laquelle le vantail

est plongé. Cette eau entre et sort librement par des orifices ménagés dans le bordé en amont et en aval, de sorte que le lest est automobile et varie en quantité et en poids avec le niveau de l'eau dans le bassin à flot. Toutefois les orifices sont munis de valves pouvant être ouvertes ou fermées à volonté du haut de la passerelle, mais dans la pratique ces valves restent habituellement ouvertes.

Le compartiment inférieur sert de flotteur et reste toujours absolument vide d'eau. Des cheminées étanches, débouchant sur la passerelle et munies d'échelles fixes en fer, permettent d'y accéder en tout temps à travers le compartiment supérieur.

Par ce jeu automobile du lest, avec une variation du niveau de l'eau dans le bassin atteignant $1^{m},30$ et même exceptionnellement $1^{m},45$ suivant les marées, le poids final du vantail avec son lest, dans l'eau, se maintient entre 10 et 22 tonnes.

Galets mobiles. — Néanmoins chaque vantail a été muni de deux galets qui roulent sur deux chemins de fer circulaires encastrés et scellés dans le bas radier.

Ces galets peuvent être remontés à volonté. Ils sont portés par un cadre mobile dans l'intérieur du vantail, se relevant jusqu'au-dessus de la deuxième entretoise, à partir du haut. C'est sur cette entretoise qu'est fixé le verrin servant à remonter à la fois le cadre et le galet.

Afin d'éviter toute introduction d'eau, les tiges verticales du cadre traversent l'entretoise inférieure et la quatrième entretoise par l'intermédiaire de presse-étoupes. Pour plus de sécurité, on a même enfermé chaque cadre dans un véritable puits vertical étanche. Les cheminées

qui traversent la caisse à lest sont du reste en nombre suffisant pour accéder dans toutes les parties du flotteur, s'il fallait les isoler définitivement.

Travail maximum du fer. — Les calculs de résistance ont été faits par la méthode de M. l'ingénieur Lavoinne, dont les recherches théoriques confirment d'une façon remarquable les résultats des expériences faites antérieurement au Havre par feu M. l'inspecteur général Chevallier. On s'est imposé la condition que, même dans les pièces les plus chargées, le fer ne travaillât qu'à 4 kilogrammes par millimètre carré de section au lieu de 6 kilogrammes, chiffre généralement admis en France dans les ouvrages métalliques.

Effets de l'oxydation. — On s'est prémuni aussi contre l'affaiblissement pouvant résulter de l'oxydation. Il est à remarquer d'ailleurs que les portes peuvent être fréquemment peintes dans tout l'intérieur et sur la face plane des vantaux; en outre, l'expérience a montré qu'à Saint-Nazaire les fers immergés dans les eaux du bassin à flot sont promptement recouverts d'une couche compacte de coquillages à test calcaire appelés *cravants,* revêtement presque aussi préservatif qu'une couche de peinture.

Prix de revient. — Les portes ont été faites à l'entreprise par la Société des forges et chantiers de l'Océan, moyennant le prix, pour les deux vantaux, de 246,000 fr. en nombre rond.

Ces portes ont été projetées et exécutées en 1871, sous la direction successive de MM. les ingénieurs en chef Chatoney et Lefferme, par M. Revol, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées.

COMPARAISON SOMMAIRE ENTRE LES DEUX SYSTÈMES.

On a fait observer dans le cours de cette notice que, tandis que les portes en bois, construites en 1858, ont eu à supporter au maximum une charge d'eau de 6 mètres, les portes en métal ont été appelées, par le fait des circonstances, à subir d'une manière satisfaisante l'épreuve d'une pression de 10 mètres.

Le prix de revient du vantail des portes en bois a été de 110,000 francs.

Le vantail de même dimension des portes métalliques a été payé 123,000 francs.

Cette différence peut être considérée comme à peu près insignifiante, eu égard au prix sans cesse croissant des bois de grandes dimensions.

Si, à défaut d'observations directes, on en juge par la durée relative des navires en bois et des navires en fer, il est permis de conclure que, pour les écluses à la mer, la préférence appartient comme économie aux portes métalliques comparativement aux portes en bois.

XXVIII

BASSIN À FLOT DU PORT DE BORDEAUX.

Dessin à des échelles variant de $0^m,0005$ à $0^m,02$.

La création du bassin à flot du port de Bordeaux a eu pour but d'augmenter la capacité de ce port, qui était devenu insuffisant pour le nombre toujours croissant des navires qui le fréquentent.

Ce bassin aura une surface d'environ dix hectares et sera entouré, sur tout son parcours, de murs de quai verticaux présentant un développement de 1,800 mètres. Son tirant d'eau sera de 8 mètres dans l'emplacement assigné aux paquebots transatlantiques, et de $7^m,50$ dans les autres parties. Le long de ses bords s'étendront des terre-pleins, occupant une superficie de douze hectares, pour le dépôt et le magasinage des marchandises.

Il sera mis en communication avec la Garonne au moyen de deux écluses à sas juxtaposées, de dimensions différentes. La plus grande, destinée aux paquebots à roues, aura 22 mètres de largeur et 152 mètres de longueur entre les portes. La seconde aura 14 mètres de largeur et 136 mètres de longueur; elle sera affectée aux vapeurs à hélice et aux navires à voiles : une paire de portes intermédiaires la divisera en deux sas, l'un de 60 mètres, l'autre de 76 mètres.

Deux ponts tournants seront placés aux deux extrémités

des écluses pour assurer la circulation pendant le passage des navires.

Le bassin sera alimenté directement par les eaux de la Garonne, toutes les fois que le niveau de la marée dépassera celui de sa retenue, ce qui aura lieu en général. Dans les cas très-rares, où plusieurs marées trop basses se succéderont, le niveau normal du bassin sera maintenu au moyen d'eaux pompées dans un réservoir.

L'ensemble de ces ouvrages sera complété par une forme de radoub, capable de recevoir les plus grands paquebots qui puissent monter à Bordeaux.

Les travaux, commencés en 1869, ont été considérablement retardés par la guerre. Repris avec activité en 1873, ils sont actuellement assez avancés pour pouvoir être terminés dans le courant de l'année 1877.

Ces travaux ont donné lieu à la plus vaste application, qui ait été faite jusqu'à présent, du système de fondation par blocs évidés. Les circonstances et les conditions locales en ont d'abord nécessité l'emploi aux écluses.

Fondation des écluses. — Le terrain sur lequel ces ouvrages sont établis se compose d'une vase argileuse, qui recouvre, jusqu'à une profondeur de 12 à 14 mètres, un banc de sable et de gravier aquifères de 3 à 4 mètres d'épaisseur, reposant lui-même sur la molasse. Par des sondages, on a reconnu que les eaux souterraines s'écoulent vers la Garonne, en exerçant des pressions considérables sur les masses de terres qui les recouvrent.

Par suite du niveau assigné aux buscs des écluses, les maçonneries devaient reposer en entier sur le banc de sable. On ne pouvait songer à ouvrir dans la vase molle

des fouilles de près de 14 mètres, au fond desquelles on aurait rencontré la couche aquifère, et l'on s'est résolu à faire descendre par leur propre poids, jusqu'au gravier, une suite de blocs en maçonnerie, pour former les bajoyers et les murs de garde. Ces blocs occupaient le périmètre d'un rectangle de 205 mètres de longueur et 57 mètres de largeur.

On a donné à ces blocs une largeur uniforme de 6 mètres, des longueurs variant entre 16 et 35 mètres et une hauteur de 9 mètres. Sur la moitié aval du bajoyer séparant les deux écluses, on a disposé en outre des blocs de 9 mètres de largeur, 15 mètres de longueur et 9 mètres de hauteur. Tous ces blocs étaient espacés de $0^{m},50$ les uns des autres. Ils étaient évidés par un ou plusieurs puits verticaux.

La maçonnerie d'un bloc n'était d'abord élevée que jusqu'à la moitié environ de sa hauteur définitive. Quand elle avait fait prise, on commençait à déblayer le terrain au fond du puits, et le bloc descendait jusqu'à ce que le dessus de cette première partie de maçonnerie arrivât au niveau du sol. On ajoutait ensuite, en une ou deux reprises, le reste de la maçonnerie qu'on faisait descendre de la même manière.

Cette opération s'est effectuée sans le secours d'aucune machine, tant que le déblayement s'opérait à sec. Mais lorsque la nappe souterraine faisait irruption dans les puits, ce qui arrivait quand il ne restait qu'environ deux mètres d'épaisseur de terrain vaseux, on installait dans chaque puits une pompe centrifuge, actionnée par une locomobile placée à proximité, cette dernière machine

étant en même temps utilisée pour la manœuvre des treuils qui remontaient les terres déblayées. Les déblais ont pu se continuer ainsi sans difficulté par des ouvriers travaillant au fond des puits; on arrêtait l'enfoncement lorsque le bloc était engagé de $0^{m},80$ dans le sable graveleux.

Ce fonçage des blocs ne s'est pas toujours fait avec une entière régularité et, le plus souvent, ils se sont inclinés plus ou moins dès le début de l'opération, malgré l'emploi d'étais. On est parvenu généralement à les redresser soit en dirigeant convenablement les déblais, soit en exerçant, indépendamment des étais, une pression latérale par des remblais appuyés contre le bloc, du côté du déversement. Quelquefois les blocs n'ont pu être redressés et sont descendus jusqu'au sable en restant inclinés, mais on est alors parvenu à les redresser par des fouilles bien conduites. Ces irrégularités de fonçage s'expliquent par le défaut d'homogénéité du terrain, par les obstacles rencontrés, tels que des troncs d'arbres, et aussi par les excavations produites par les épuisements. Quoi qu'il en soit, il a été remédié à tous ces accidents, et tous les blocs ont été établis dans une position normale, sauf de légères déviations dans les alignements, qui ont été corrigées en exécutant les parements définitifs des bajoyers.

Après l'enfoncement des blocs, les puits ont été remplis en béton, pour la partie sous l'eau, et en maçonnerie, pour la partie supérieure.

Les blocs ainsi échoués, les intervalles laissés entre eux ayant été bouchés par des maçonneries, constituaient une enceinte à l'intérieur de laquelle les fouilles ont pu être descendues à l'aide d'épuisements, jusqu'au niveau du

gravier, sur lequel le radier général a été établi à sec à 7 mètres environ au-dessous de l'étiage. La construction s'est ensuite poursuivie dans les conditions ordinaires. Elle est actuellement élevée jusqu'à 4 mètres environ au-dessus de l'étiage, et parfaitement étanche dans toutes ses parties.

Fondation des murs de quai. — La réussite du mode de fondation employé pour les écluses en a motivé l'application au mur de quai du bassin, qu'on avait commencé à construire sur pilotis. Ce mur est, sur les deux tiers de son parcours, établi sur une suite de voûtes en pleins cintres de 8 mètres d'ouverture, reposant sur des blocs, dont la section horizontale est un carré de 5 mètres de côté, et qui sont foncés de manière à pénétrer de 1 mètre dans le gravier. Le vide des voûtes est fermé par des massifs de maçonnerie à pierre sèche destinés à soutenir les terres en arrière du mur.

Fondation de la forme de radoub. — On avait essayé de foncer les blocs de fondation des écluses par de simples dragages, sans épuisements, et l'on dut y renoncer à cause de la nature particulière et du défaut d'homogénéité du sol. Les mêmes difficultés ne se sont pas rencontrées à l'emplacement de la forme de radoub, dont les blocs de fondation sont enfoncés à l'aide d'une drague à élinde verticale. Les blocs descendent plus régulièrement, beaucoup plus vite et avec une moindre dépense par ce procédé, qu'avec des épuisements.

L'ensemble des travaux du bassin à flot et de la forme de radoub, y compris les portes d'écluses, ponts tournants, bateau-porte, bateau dévaseur, ventellerie, et la machinerie

hydraulique pour la manœuvre des divers appareils, est estimé 14,500,000 francs sur lesquels 11 millions sont actuellement dépensés.

L'avant-projet a été dressé par M. Joly (Henry), alors ingénieur ordinaire, sous les ordres de MM. les ingénieurs en chef Droëling et Pairier. Les projets définitifs ont été rédigés et les travaux exécutés sous la direction de M. Joly (Henry), ingénieur en chef des ponts et chaussées, et de MM. de La Roche-Tolay, Régnauld et Boutan, ingénieurs ordinaires.

XXIX

PORT DE BAYONNE.

CONSTRUCTION DE JETÉES À CLAIRE-VOIE.

Dessins à des échelles variant de $0^m,0004$ à $0^m,50$.

Le port de Bayonne est formé par les eaux de l'Adour et de la Nive, qui s'y réunissent pour venir déboucher, à 7 kilomètres de leur confluent, au fond du golfe de Gascogne; entre Bayonne et la mer, le fleuve a une largeur moyenne de 250 mètres. Il offre un chenal bien abrité, dans lequel on trouve, sur un fond de sable vaseux, des profondeurs d'eau de 4 à 10 mètres à basse mer. Ce serait donc un port de grande navigation si l'entrée n'en était fermée par un banc de gravier.

Cette barre demi-circulaire se relie aux pointes ou langues de sable et de gravier qui limitent l'embouchure du fleuve, et elle l'enveloppe d'une sorte d'enceinte sur laquelle la grande houle du large arrive sans obstacle et vient briser avec violence.

Les vagues, en brisant sur la plage, communiquent aux matières qui la composent un mouvement alternatif, mais oblique à la plage, qui se traduit en un transport vers le sud, les vents régnant généralement de la partie nord. Lorsque les matières charriées atteignent l'embouchure de l'Adour, elles tombent dans le chenal, d'où le jusant les chasse vers le large; le sable est emporté au loin et le gra-

vier s'arrête au point où le courant, amorti par la rencontre des eaux de la mer, n'a plus la force nécessaire pour l'entraîner. Mais la barre, formée par l'accumulation de ces dépôts, est attaquée par les vagues qui en écrêtent le sommet et rejettent le gravier qui le compose sur l'une ou l'autre rive, suivant la direction du vent. Il existe donc un mouvement incessant de sable et de gravier qui alimente la barre aux dépens de la plage, et celle-ci aux dépens de la barre. Les eaux de l'Adour contenues entre des jetées franchissent la barre, qu'elles attaquent et qu'elles creusent dans une direction variable. Le sillon ainsi formé constitue la passe. La position et les dimensions de cette passe varient avec l'état de la mer et le volume des eaux du fleuve. Avec des eaux abondantes et la mer belle, le bourrelet de gravier qui forme la barre est poussé au large et la passe tend à se creuser; avec des eaux faibles et la mer grosse, le bourrelet est rejeté vers le fleuve et les graviers s'accumulent à son sommet.

Afin de contenir et de diriger le courant du fleuve, on avait construit, sur les deux rives, antérieurement à 1740, deux digues en maçonnerie laissant entre elles un intervalle d'environ 300 mètres; de 1740 à 1838, on construisit en prolongement de ces digues des jetées basses en pilotis et en enrochements arasées au niveau des pleines mers de morte eau, de manière à rétrécir la largeur du lit, et à mieux assurer l'effet du courant sur le bourrelet.

En 1838, la jetée basse du sud avait une longueur de 540 mètres et se trouvait en saillie de 300 mètres sur celle du nord; la largeur du fleuve, à l'extrémité de la jetée basse du nord, était de 160 mètres. Le tirant d'eau

sur la barre n'avait pas été augmenté; on n'avait réussi qu'à rejeter la côte et la barre au large d'une distance à peu près équivalente à la longueur des jetées pleines exécutées. La profondeur au-dessous des plus basses mers oscillait entre $1^m,50$ et 2 mètres dans les circonstances ordinaires; mais, à la suite de coups de vents d'ouest et avec de faibles eaux de l'Adour, elle se réduisait à moins de 1 mètre, tandis que, avec de fortes eaux, elle s'élevait à 3 mètres de plus. A cette profondeur, il fallait ajouter à la pleine mer $2^m,20$ environ en morte eau et $3^m,20$ environ en vive eau ordinaire. Cependant, en prolongeant la jetée du sud au delà de celle du nord, on avait réussi à éviter ces grandes déviations vers le sud, qui rendaient l'entrée si dangereuse, et la passe ne s'éloignait que fort peu dans ses oscillations de la direction O. N. O., considérée comme la plus avantageuse par les marins.

En 1854 les études furent reprises et M. Daguenet, ingénieur du port, proposa d'appliquer le système de jetées à claire-voie dont l'idée avait été émise par M. Alan de Rivera, directeur général des travaux du royaume de Naples, comme un moyen d'améliorer les embouchures de fleuves obstruées par les sables.

Un décret du 29 mai 1858, statuant sur l'ensemble des travaux à exécuter, affecta une somme de 1,690,000 francs à l'amélioration de l'embouchure de l'Adour. Ces travaux devaient comprendre : au sud, 200 mètres de jetée pleine et 200 mètres de jetée à claire-voie, à la suite; au nord, 666 mètres de jetée à claire-voie; les jetées basses, anciennes et nouvelles, devaient d'ailleurs être toutes surmontées d'un tillac. La jetée pleine du sud avait pour

objet d'infléchir le courant dans la direction des nouvelles jetées inclinées de 18° vers le nord sur les anciennes. Ces ouvrages furent terminés à la fin de 1861, en y comprenant un prolongement de 100 mètres, sur chaque rive, de jetée à claire-voie, qui avait été autorisé par une décision ministérielle du 8 juin de cette dernière année. Les jetées à claire-voie consistaient en une file de pieux de 30 centimètres laissant entre eux des vides de 60 centimètres, moisés en tête et enrochés primitivement jusqu'à 4 mètres seulement en contre-bas du niveau de la plus basse mer. Plus tard, pour donner plus de stabilité aux pieux, l'enrochement fut exhaussé jusqu'à 2 mètres en contre-bas de la plus basse mer; en arrière, deux files de pieux plus espacés soutenaient la file principale.

La jetée pleine n'en diffère qu'en ce que les enrochements en blocs naturels s'élèvent jusqu'au niveau des pleines mers de morte eau, les jetées pleines et à claire-voie étant arasées à ce niveau. Les travaux, notamment le pont de service, surmontant les jetées à claire-voie et servant de tillac, avaient eu à subir chaque hiver, depuis leur achèvement, de violentes tempêtes qui avaient occasionné des avaries qu'on était parvenu à réparer. Mais, dans l'hiver de 1864-1865, une nouvelle cause de destruction se révéla dans des proportions inquiétantes. On s'aperçut que les pieux des claires-voies étaient attaqués par les vers tarets à partir du niveau de la basse mer, dans la partie inférieure. Sous cette influence, les avaries prirent de telles proportions, qu'il fallut abandonner 115 mètres de jetée à claire-voie à l'extrémité du côté sud, et 132 mètres à l'extrémité du côté nord.

Jetées métalliques à claire-voie. — En 1866, M. l'ingénieur Prompt, alors chargé du service du port, entreprit l'étude de la reconstruction des portions de jetées démolies, et proposa de remplacer les pieux en charpente par un système de tubes en fonte remplis de béton, système dont les projets furent poursuivis avec le concours de la société Cail et Fives-Lille en participation. Un décret du 27 novembre 1868 autorisa la reconstruction, dans ce système, des extrémités des jetées démolies sur les deux rives.

Le projet comprend, au sud, vingt et un tubes ou colonnes, et vingt-quatre colonnes au nord. Ces tubes sont des cylindres creux en fonte, de 2 mètres de diamètre, qu'on enfonce dans le sol, de $7^{m},30$ en contre-bas de la plus basse mer, au moyen de l'air comprimé; vers l'extrémité de la jetée et dans la crainte des affouillements, on a donné des fiches plus grandes allant jusqu'à $11^{m},80$; les colonnes espacées d'axe en axe de 5 mètres sont remplies de béton, et sont surmontées d'un chapiteau en fonte portant deux nervures percées de trous. Dans ces nervures sont boulonnés les pieds des montants d'un tillac ou passerelle en fer. Autour des tubes et dans leur intervalle, on versera plus tard des enrochements dont le plan supérieur sera réglé suivant une pente vers le large de un centimètre par mètre, de manière que son niveau se trouve à 3 mètres en contre-bas du niveau des plus basses mers, à la dernière colonne. D'un tube à l'autre règnent, à deux hauteurs différentes, deux cours de doubles moises longitudinales en fer, entre lesquelles, d'après le projet primitif, on devait faire glisser à volonté des vannes en bois armées de fer. Mais l'expérience ne semble pas favorable à ce sys-

tème, qui ne résisterait sans doute pas aux attaques d'une mer aussi violente.

Les tubes sont d'ailleurs arasés, comme les anciennes claires-voies, au niveau des pleines mers de morte eau.

Ce projet est aujourd'hui en plein cours d'exécution; le côté sud est terminé, sauf les vannes, qu'on ne mettra en place qu'autant que la nécessité en sera reconnue.

Piles en enrochements avec passerelle en bois. — Dans les parties des anciennes jetées à claire-voie qui doivent être conservées en amont des jetées métalliques, sur les deux rives, on établit des piles espacées de $12^{m},50$ d'axe en axe, formées d'un massif d'enrochements qu'on recouvre d'un massif de béton descendu aussi bas que la basse mer le permet. Ces piles qui, à la hauteur des mers moyennes, laissent autant de vides que de pleins, remplaceront d'une manière efficace les pieux des anciennes jetées, qui tendent à disparaître sous l'action des tarets et des lames; dans les piles on encastre des rails Barlow, qui portent le tablier d'une passerelle américaine faisant fonction de pont de service et de tillac. Ces ouvrages, qui obéissent dans les premiers temps à des mouvements de tassement sous l'action des lames et des crues, finissent par acquérir une grande stabilité.

Nature des matériaux. — Les enrochements employés dans les travaux de la barre proviennent des carrières d'ophite, qu'on trouve sur les bords de la Nive; le poids minimum des pierres est de 50 kilogrammes, et le poids moyen d'environ 100 kilogrammes.

Le tablier définitif de la passerelle métallique sera en bois de chêne.

Le tablier sur palées en rails Barlow et sur piles en enrochements bétonnés, qui est en bois de pin des Landes, sera remplacé aussi par une ossature en fer portant un tablier en chêne.

Chariot de fonçage. — Pour la mise en fiche et le fonçage des tubes ou colonnes, on s'est servi d'un appareil appelé chariot de fonçage, qui a été fourni par la maison Cail et Fives-Lille en participation, et dont on a produit le plan, l'élévation et la coupe.

L'élévation montre le chariot s'appuyant sur deux colonnes déjà foncées, et en position de mettre en fiche la colonne suivante : les anneaux devant former cette colonne sont successivement amenés par des wagonnets, saisis au moyen du treuil qui surmonte le chariot, et déposés provisoirement sur un plancher au-dessus de leur emplacement définitif. Sur ce plancher, on assemble un nombre suffisant d'anneaux pour que le tronçon de colonne, saisi et mis en fiche par le treuil du chariot, dépasse le niveau de basse mer. On continue ensuite d'ajouter des anneaux autant qu'il est possible sans empêcher le fonctionnement du chariot; on met en place les guides de la colonne, et on la couronne des anneaux, outils et sas à air. On met le sas en communication avec la machine à comprimer l'air, établie à l'origine du pont de service et reliée au sas par un long tuyau en fonte qui repose sur le plancher du pont, et l'opération du fonçage commence. Sous la pression des gueuses en fonte qui lestent le sas, jusqu'à concurrence de 10,000 kilogrammes, l'anneau-couteau inférieur pénètre dans le sol d'une quantité variable, puis deux hommes descendus dans l'intérieur de la colonne

fouillent au pourtour et chargent des bennes qui, remontées par d'autres hommes placés dans l'écluse à air, sont déchargées au dehors à mesure que le déblai s'opère. La colonne descend, et quand la fiche atteint la profondeur qu'on lui a fixée d'avance, on la remplit d'abord de béton en mortier de ciment à prise rapide, pour former tampon et empêcher l'introduction de l'eau, puis, avec du ciment de Portland. Si la hauteur de colonne qu'il a été possible d'assembler en premier lieu n'est pas suffisante, eu égard au peu de profondeur du sol, en contre-bas de la basse mer, on enlève le sas et on ajoute des anneaux en quantité nécessaire. A cet effet, le chantier est approvisionné d'anneaux de différentes hauteurs.

Quand le fonçage est terminé avec la fiche voulue, on enlève définitivement le sas et on le remplace par l'anneau supérieur formant chapiteau. Sur ce chapiteau, on assemble les poutres en fer formant rails pour les chariots, et, au moyen de palans fixés sur les colonnes déjà foncées, on fait avancer le chariot de la longueur d'un entre-colonnement (5 mètres) pour mettre en fiche la colonne suivante.

Si l'on opérait dans le sol naturel, de sable ou de gravier, on pourrait, en trois jours, foncer une colonne à 8 mètres de fiche, la remplir de béton en deux jours, et il faudrait ensuite trois jours pour la pose du chapiteau, des poutres, et le mouvement en avant du chariot, en tout huit jours. Mais les conditions sont bien changées par la présence dans le sol des débris de l'ancienne jetée à claire-voie en bois, dont la jetée métallique occupe l'emplacement. Non-seulement on a à traverser une couche d'en-

rochements d'ophite très-dur qu'il faut tailler au burin, mais l'anneau-couteau se trouve arrêté fréquemment par des rails, des boulons, d'anciens pieux qu'il faut tailler, rompre et hacher péniblement; de sorte qu'il n'a pas fallu moins de dix-huit jours, en moyenne, pour la mise en fiche de chaque colonne.

Les dépenses faites jusqu'ici ont atteint la somme de 660,150 francs, et il reste à dépenser 289,850 francs pour terminer les travaux. A cette somme il convient d'ajouter celle de 600,000 francs qui sera nécessaire pour substituer partout le fer ou la maçonnerie au bois de pin dans la reconstruction définitive des ponts de service en amont des jetées à claire-voie. Le système des jetées à claire-voie a permis de réaliser une augmentation de profondeur qu'on n'avait pu obtenir avec les jetées pleines. Ces dernières, formant seuil, arrêtaient les sables et faisaient avancer la plage et le bourrelet ou barre vers le large. Avec les jetées à claire-voie, il se forme des petites chasses latérales qui empêchent les sables de s'atterrir le long des jetées pendant que la masse d'eau du courant est contenue entre les jetées et dirigée sur la barre. Celle-ci n'est pas déplacée et l'augmentation de profondeur déjà obtenue est de 1 mètre; elle sera plus considérable quand on aura mis en place les dix-huit colonnes qui restent à mettre en fiche au nord.

Les travaux des jetées à claire-voie ont été projetés et exécutés sous la direction de MM. Floucaud de Fourcroy, Pairier et Daguenet, ingénieurs en chef, par MM. Daguenet, Prompt et Stoecklin, ingénieurs ordinaires des ponts et chaussées. La surveillance des jetées à claire-voie en char-

pente a été confiée à M. le conducteur principal Ulysse Palaa, jusqu'au 1er juillet 1863. La maison Cail et Fives-Lille en participation a pris une part active, avec M. l'ingénieur Prompt, à la préparation des projets des jetées métalliques. Elle a été chargée des fournitures et de la mise en œuvre des tubes ou colonnes jusqu'aux premiers mois de 1872; à partir de cette époque, la surveillance des travaux a été exclusivement confiée à M. le conducteur des ponts et chaussées Ramonbordes.

XXX

SAINT-JEAN-DE-LUZ.

DIGUE DU SOCOA ET MÔLE DE L'ARTHA.

Dessins à des échelles variant de $0^m,0002$ à $0^m,20$.

Le port de Saint-Jean-de-Luz se compose d'une baie ou rade naturelle et de deux petits ports d'échouage : celui de Saint-Jean-de-Luz, formé par le lit de la Nivelle, et celui du Socoa, créé à l'entrée de la baie sur le côté ouest, au moyen de plusieurs digues disposées pour l'abriter des lames.

La baie forme une sorte de demi-cercle ouvert au nord 15° ouest; son ouverture, entre les pointes du Socoa (ouest) et de Sainte-Barbe (est), est de 1,500 mètres; sa largeur jusqu'à l'embouchure de la Nivelle est de 1,100 mètres.

La profondeur d'eau, en contre-bas de la plus basse mer, atteint jusqu'à 13 mètres; cette profondeur, sur plus de 70 hectares de superficie, dépasse 6 mètres; elle dépasse 10 mètres sur plus de 20 hectares. La baie était profondément agitée par les vents entre le nord et l'ouest; on travaille à l'abriter au moyen de deux digues, dont l'une, partant du Socoa, aura 335 mètres de longueur, et l'autre, isolée en mer et placée sur la roche marine l'Artha, aura 200 à 250 mètres de longueur. Ces deux digues, laissant entre elles une passe de 300 mètres de longueur, doivent avoir pour résultat, non-seulement de faire de la baie de Saint-Jean-de-Luz un port de refuge, mais encore

de garantir la ville de la destruction dont elle est menacée par l'envahissement continu de la mer. Une digue appelée seuil de garantie, dont on a donné le profil, et qui n'est que le revêtement d'un noyau de sable, la protége seule en ce moment.

Dans la rade et dans le port du Socoa la marée monte de $3^m,30$ en morte eau et de $4^m,30$ en vive eau, au-dessus du niveau des plus basses mers. Mais, dans l'intérieur du port de Saint-Jean-de-Luz, la mer descend moins et la marée ne monte que de $3^m,60$, aux grandes vives eaux, au-dessus de son niveau.

La construction de la digue de l'ouest fut ordonnée par un décret du 7 octobre 1863, qui autorisa une dépense de 2 millions de francs pour l'exécuter sur une longueur de 260 mètres.

Un décret du 25 mai 1867 autorisa le complément des travaux de fermeture de la rade, dont le montant est de 4,500,000 francs, et comprend : le prolongement de la digue du Socoa sur une longueur supplémentaire de 75 mètres, et la construction, sur 200 à 250 mètres de longueur, d'un brise-lames sur le rocher de l'Artha ; la passe entre les deux digues devant avoir 300 mètres au niveau de la basse mer de vive eau d'équinoxe. Ces travaux se poursuivent; la digne du Socoa est achevée sur 285 mètres de longueur, et fondée sur le reste de son étendue, et l'on s'occupe en même temps de couler des blocs artificiels et naturels pour l'établissement du môle de l'Artha.

La digue du Socoa a été exécutée la première, afin d'abriter le mouillage naturel qui existait déjà par des fonds de 6 mètres de basse mer.

On s'est occupé en même temps de couler les blocs artificiels et naturels qui doivent constituer la fondation du môle de l'Artha.

On coule les blocs naturels et artificiels de manière à se rapprocher autant que possible du profil type dont les dessins sont exposés. Quand la fondation arrive ainsi au niveau des basses mers, on règle autant que possible la surface supérieure avec des blocs naturels et des moellons encastrés dans les vides des grands blocs; puis on élève au-dessus des couches successives de béton et de moellons, en profitant de la basse mer. Les moellons sont plantés de champ dans le lit de béton, de manière à amorcer la couche de béton suivante. Mais on attend, avant d'entreprendre la maçonnerie supérieure, que la fondation ait subi l'épreuve de deux hivers, des grosses mers et des tempêtes, de manière que les blocs ayant éprouvé leur tassement aient pris leur assiette définitive.

Les bancs calcaires d'un coteau voisin fournissent les blocs naturels dont le poids maximum est fixé à 2,000 kilogrammes et le poids minimum à 500 kilogrammes, les moellons pour les parements et pour le corps de la digue, et la pierre cassée à la grosseur de $0^{m},10$ pour le béton. Le sable est emprunté à la plage.

Le ciment employé dans les blocs factices est le Portland d'Angleterre ou de Boulogne-sur-Mer; on emploie, pour la maçonnerie de la muraille exécutée à la marée, du ciment à prise rapide provenant de la fabrique de Gurrutchaga, à Zumaya (Espagne), ou de Cahors, en France.

On n'a pas employé de pierre de taille à la digue. La forme concave donnée au parement du large évite les

chocs et diminue la pression contre la digue en faisant glisser la lame jusqu'à rendre sa direction verticale pour la laisser retomber ensuite sur elle-même; mais il en résulte au retour une action qui tend à éloigner les blocs de la fondation du pied de la muraille, et il est possible que pour la muraille sur le môle de l'Artha on soit conduit à rendre ce parement droit avec un simple fruit.

Chemin de fer de service. — Un chemin de fer de service a été établi au pied du coteau sur l'étendue du front de la carrière; il franchit l'Ounxin sur un pont en charpente avec poutres américaines à treillis, traverse en remblai la plaine marécageuse de la rive gauche, longe le grand chantier des blocs factices, et passe entre les maisons du Socoa et le parapet qui borde le mur de quai. De là le chemin vient aboutir à l'entrée du port d'échouage, à l'aide d'un viaduc avec piles en maçonnerie et tablier en charpente sur poutres américaines à treillis; ensuite, il s'établit sur le terre-plein de l'ancienne digue du Socoa et se développe sur la digue nouvelle au fur et à mesure qu'on la prolonge, de manière à venir porter les matériaux à son extrémité pour la construction de la muraille.

A la sortie de la plaine de l'Ounxin et près du pont en pierre de la route du Socoa, un embranchement se détache de la voie de fer principale pour se diriger vers la dune de sable, qui alimente les travaux. A l'entrée du port du Socoa, deux autres embranchements s'en détachent : l'un pour suivre la digue du sud du port d'échouage, l'autre pour aboutir au sommet de la cale ou plan incliné servant à l'embarquement des blocs factices

dont nous parlerons plus loin. Ce chemin est desservi au moyen de deux locomotives de la force de 35 et 60 chevaux et de wagons plates-formes. Un autre embranchement traverse le chantier des bois. Un pont à bascule est établi sous le passage de la voie principale pour peser les wagons chargés de blocs naturels, de moellons et de pierre cassée, dont la fourniture est payée au poids à l'entrepreneur.

Ce chemin de fer dessert ainsi la carrière et la sablière dont il apporte les matériaux à pied-d'œuvre, soit pour la confection des blocs, soit pour l'exécution de la muraille. L'embranchement de la digue du sud permet d'amener les wagons chargés de blocs naturels sous une grue fixe portant un treuil roulant qui les embarque dans les pontons; il permet aussi, à l'aide d'une grue à vapeur, de décharger les navires portant le ciment, et de transporter les barils et les sacs de ciment soit dans les magasins qui longent la voie de fer dans la traverse du Socoa, soit au hangar du grand chantier.

Enfin le chemin de fer permet de faire pousser les wagons porte-blocs par les locomotives, et d'amener ainsi les blocs factices au sommet du plan incliné qui les conduit au ponton.

Chantiers. — On a d'abord construit les blocs en béton dans des caisses ou moules en bois, dans le port même d'échouage; le mortier est fabriqué sur les digues du pourtour du port, ou sur un échafaudage en charpente, avec une vis mue par une locomobile. Le mortier mélangé ensuite à la pierre cassée, à l'aide de rabots et de pelles, est jeté dans un couloir en planches qui le verse dans un moule

où l'on pilonne le béton; les blocs sont faits pendant la basse mer et menés de manière à être exécutés en entier dans une marée. Les pontons viennent les accrocher à la basse mer pour les immerger au plein, de manière que chaque appareil de ponton ne peut transporter qu'un bloc par marée; ce chantier d'ailleurs ne peut contenir que quatre-vingts blocs. Pour pouvoir donner une impulsion plus active aux travaux, on a établi, à l'aide de terres de découverte provenant de la carrière, et transportées par les locomotives, un second chantier, plus étendu, pouvant contenir cinq cents blocs en contre-haut de la marée. Le chantier est relié au port du Socoa par le prolongement de la voie de fer qui le traverse, et par le plan incliné. Vers une extrémité de ce chantier, se trouve un hangar surmontant une terrasse sous laquelle est établi un magasin pour le ciment; ce bâtiment est desservi par un embranchement de la voie de fer, qui y porte le ciment, le sable et la pierre cassée pour la fabrication du béton. Le terre-plein sous le hangar est à la hauteur du dessus des moules, et permet d'amener le béton dans ces derniers au moyen de wagonnets roulant sur des voies de fer reposant sur les blocs déjà construits.

Grues. — Une grue roulante de 6 mètres de portée, mue à la main, sert, à la carrière, à charger les blocs naturels sur les wagons; sur la digue du nord, est établie une grue du système Chrétien, mue par la vapeur, qui permet de décharger, avec une grande rapidité, les navires portant le ciment, et qui est aussi employée quelquefois à transporter les blocs naturels des wagons sur les pontons destinés à les couler. Une grue en charpente

sert à soulever les blocs dans le grand chantier, et à les transporter, en roulant, sur des rails Barlow, jusque sur les wagons spéciaux porte-blocs, pour être ensuite poussés par une locomotive jusqu'au sommet du plan incliné. Cette grue porte aux quatre angles quatre verrins, à l'aide desquels on soulève les blocs; ces verrins sont mus par des leviers agissant sur une lanterne qui porte des linguets dont les deux faces sont l'une verticale, l'autre arrondie, de manière que le levier agit par un mouvement alternatif de va-et-vient, sans que les hommes aient à sortir du dessus du bloc.

Plan incliné. — Arrivé au sommet du plan incliné, le wagon portant le bloc est accroché à un câble qui forme le brin conducteur d'un palan à six brins, disposé verticalement dans un bâti en charpente de 15 mètres de hauteur. La poulie mobile du palan porte un contre-poids qui s'élève pendant la descente du wagon sur le plan incliné. Ce contre-poids est calculé de façon à provoquer la remonte du wagon vide dès que les pontons ont pu saisir le bloc immergé.

A la descente, la différence entre l'effort de traction exercé par le bloc et la résistance du contre-poids est consommée par un frein à vis agissant sur un tambour en fonte autour duquel le câble est enroulé. Le plan incliné a une longueur de 90 mètres, et sa pente varie de 55 à 80 millimètres par mètre, de façon à rendre constant l'effort de traction exercé par le bloc à la descente, quel que soit l'allégement produit par son immersion graduelle dans l'eau.

Matériel naval. — On se sert généralement pour le cou-

lage des blocs de deux pontons jumelés laissant entre eux un vide de 3 mètres, et reliés à l'aide de fortes poutres en charpente, auxquelles le bloc est suspendu par l'intermédiaire d'un crochet à déclic.

Mais quand on veut placer des blocs au pied de la muraille, et afin d'en approcher plus facilement, on emploie un grand ponton portant le bloc à une extrémité et lesté à l'autre, de manière que la ligne de flottaison se rapproche de l'horizontale quand le ponton est chargé.

Pour le coulage des blocs naturels, on employait les bateaux pontés; les blocs étaient posés sur le pont, qui présente une assez forte inclinaison de chaque côté de l'axe longitudinal du bateau, et retenus pendant le trajet par des portières que l'on rabattait quand le bateau arrivait à destination.

On emploie maintenant un bateau entièrement ponté au centre duquel se trouve une ouverture rectangulaire de 5 mètres sur 2 mètres. Le fond de cette ouverture est formé de deux grilles en rails Barlow placées sur deux axes horizontaux. Les blocs naturels, placés dans cette ouverture et reposant sur les grilles, sont plongés dans l'eau pendant leur trajet au lieu d'emploi, puis, à l'endroit du coulage, on largue les amarres qui retenaient les grilles, celles-ci pivotent autour des axes horizontaux, et le chargement est immergé d'un seul coup.

Deux chaloupes à vapeur, à aubes, ayant respectivement $13^m,20$ et $18^m,80$ de longueur, $2^m,75$ et 4 mètres de largeur au milieu, servent à remorquer les pontons des blocs factices et des blocs naturels, jusqu'à l'emplacement où ces blocs doivent être coulés; la première

est de la force de 6 chevaux, la deuxième de 12 chevaux. On se dirige dans le coulage soit des blocs factices, soit des blocs naturels, au moyen de balises plantées sur la côte.

Blocs factices. — Tous les blocs mesurent 20 mètres cubes; ils ont les dimensions suivantes : longueur 4 mètres, largeur 2m,50 et hauteur 2 mètres. Ceux qui sont fabriqués dans le port sont en béton et composés de 2 de pierres et de 1 de mortier; le mortier est composé de 1 de ciment de Portland en volume et de 2 $\frac{1}{2}$ de sable.

Dans le grand chantier, on a construit le long de la voie de fer principale des blocs en maçonnerie de moellons avec mortier de ciment de Portland, où le volume de sable a été porté à 3; on a même essayé de construire quelques blocs avec 3 $\frac{1}{2}$ de sable. Les blocs du port sont immergés au bout de deux mois, mais l'étendue du grand chantier permet de les laisser sécher plus longtemps, et c'est ce qui a conduit à forcer la proportion du sable. En construisant le bloc, on y encastre deux tirants en fil de fer reliés à la partie inférieure par une pièce de bois, de manière à rendre tout le corps du bloc solidaire des deux points de suspension; les extrémités supérieures de ces tirants portent des boucles, qui viennent saisir soit les anneaux qui terminent les tiges des verrins de la grue du grand chantier, soit les crochets des pontons; dans le trajet, et par mesure de précaution, on passe en outre sous le bloc une ou deux chaînes en fer, dont les extrémités sont fixées aux pontons.

Les ingénieurs qui ont dressé les projets et exécuté jusqu'ici les travaux de fermeture de la rade sont :

MM. Floucaud de Fourcroy, Pairier et Daguenet, ingénieurs en chef;

MM. Daguenet (1857-1865), Prompt, Stoecklin et André, ingénieurs ordinaires des ponts et chaussées.

Parmi les conducteurs qui ont secondé les ingénieurs, on doit citer : M. Lichero, conducteur principal, jusqu'au 1er mars 1872, et, à partir de cette date, M. Millon, conducteur.

XXXI

PORT DE MARSEILLE.

1° EXTENSION DES BASSINS.

2° INSTRUMENTS DE RADOUB.

3° PONT-LEVIS OU TOURNANT À VOLONTÉ.

Dessins à des échelles variant de 0m,0001 à 0m,05.
Un modèle en relief à l'échelle de 0m,0025.

1° EXTENSION DES BASSINS. — INDICATIONS GÉNÉRALES.

Le port de Marseille, qui ne possédait en 1844 que son vieux port naturel d'une surface de 29 hectares et de 2,700 mètres courants de quai, comprend aujourd'hui une série de bassins extérieurs, tous conquis sur la mer et présentant ensemble une surface d'eau parfaitement abritée de 136 hectares, un développement de quais de 12,600 mètres, dont 8,500 mètres utilisables pour les opérations de débarquement et d'embarquement, de vastes entrepôts groupés autour des bassins et pouvant contenir 130,000 tonnes de marchandises, des emplacements autour des mêmes bassins pour augmenter l'importance de ces entrepôts, et cinq formes de radoub dont l'une de 141m,50 de longueur. Il peut recevoir dans de bonnes conditions les plus forts navires, et le *Great-Eastern* de 200 mètres de longueur pourrait venir y faire ses opérations. Son mouvement est de 20,000 navires jaugeant 5 millions de tonnes, entrées et sorties réunies.

Après l'exécution des travaux qui se poursuivent au-

jourd'hui et qui seront terminés dans cinq ans, le développement total des quais sera porté à 17,200 mètres, dont 12,500 utilisables pour les opérations de débarquement et d'embarquement.

Le tirant d'eau varie dans les divers bassins : il est de 6 à 7 mètres au-dessous des basses mers dans l'ancien bassin. Dans les nouveaux bassins il est, sauf quelques points exceptionnels, de 7 mètres au minimum et il dépasse, sur plus de 50 hectares, la profondeur de 9 mètres. Le long de la digue extérieure, dont la longueur totale est aujourd'hui de 3,070 mètres, il est successivement de 11 mètres, 15 mètres et 20 mètres.

Il existe trois passes offrant comme tirant d'eau : celle du vieux port, $7^{m},50$ au-dessous des plus basses mers; la passe Sud des nouveaux bassins, 9 mètres; et la passe Nord, 15 mètres.

L'idée qui a présidé à l'élaboration des projets des bassins extérieurs consiste dans la création le long du rivage d'une série de bassins séparés les uns des autres par des môles intérieurs ou *traverses*, enracinés à terre et couverts, vers le large, par une digue parallèle à la côte, laissant entre elle et les têtes des môles un chenal permettant une communication commode entre tous ces bassins. Ce système permet de proportionner toujours l'étendue du port aux besoins croissants du commerce, en ajoutant successivement de nouveaux môles à la suite de ceux qui existent, et en les couvrant par un prolongement correspondant de la digue extérieure.

Les dépenses faites au port de Marseille, non compris celles des entrepôts, s'élèvent depuis 1844, époque où

l'on a commencé les nouveaux bassins, à la somme de 50 millions; elles s'élèveront à 70 millions après l'achèvement des travaux actuellement en cours d'exécution.

Système de construction. — Digue extérieure. — La digue extérieure du port de Marseille est exécutée au moyen de blocs naturels et artificiels.

Plusieurs grands ouvrages de même nature existaient au moment où cette digue fut projetée : c'était la digue de Cherbourg, en France, celle de Plymouth, en Angleterre; d'autres étaient en pleine voie d'exécution : c'était la digue d'Alger, le break-water de la Delaware, aux États-Unis; enfin, une digue d'une grande importance, celle d'Holyhead, en Angleterre, était étudiée à peu près en même temps que celle de Marseille.

Une idée principale paraît avoir guidé les auteurs des grandes digues de Cherbourg, Plymouth, Holyhead, la Delaware : c'est celle d'employer simultanément tous les produits des carrières en laissant à la mer le soin de former le talus sur lequel ils pouvaient tenir.

A côté de cette idée principale, on en voit naître une autre, c'est celle de réserver de gros matériaux pour recouvrir le talus extérieur de la masse formant le corps de la jetée : c'est ainsi qu'à Cherbourg on dispose sur ce talus une couche de gros blocs de $1^{m},25$ d'épaisseur en moyenne, que l'on descend jusqu'à environ 5 mètres au-dessous des plus basses mers, limite extrême, dans cette localité, de l'action puissante des vagues. Toutefois, ces blocs ne semblent pas présenter toute la sécurité désirable dans les parties les plus exposées de la digue et dans celles qu'il importe de préserver de toute avarie; on

les recouvre à leur tour de blocs artificiels de 20 mètres cubes.

C'est ainsi qu'à Plymouth le talus extérieur est perreyé au moyen de blocs de $0^m,80$ d'épaisseur, ayant $1^m,20$ de long sur 1 mètre de large, dont les joints sont garnis avec du ciment Parker.

A la Delaware, on emploie, pour la défense des talus, des blocs de 4,000 à 5,000 kilogrammes rangés régulièrement et placés en boutisses.

Des dispositions analogues sont suivies à Holyhead.

La digue d'Alger est projetée dans un tout autre système. L'auteur s'est imposé l'obligation de n'employer que des blocs d'une dimension telle qu'ils ne pussent, dans aucun cas, être remués par les vagues, ce qu'il a jugé possible, puisque l'action des vagues est proportionnelle à la surface choquée, tandis que la résistance du bloc croît comme son cube. Il a, par suite, exécuté cette digue exclusivement au moyen de blocs artificiels d'abord de 10 mètres cubes et ensuite de 15 mètres cubes.

L'expérience a démontré que, tandis que dans le système des digues de Cherbourg, Plymouth, Holyhead, Delaware, le talus extérieur variait, suivant la situation de l'ouvrage, entre 5 et 10 pour 1 dans la zone d'action de la mer, zone qui se faisait sentir jusqu'à environ 5 mètres au-dessous des plus basses mers, le talus de la digue d'Alger se tenait sous une inclinaison d'environ $1\frac{1}{4}$ pour 1.

La digue de Marseille a été construite en s'appuyant sur la double expérience de Cherbourg et d'Alger. D'une part, on a pris à la digue d'Alger ses grands blocs artificiels pour les opposer directement à l'action puissante

des lames; d'autre part, on a pris à la digue de Cherbourg ses blocs naturels de toutes dimensions, c'est-à-dire tous les produits des carrières pour en faire le corps de la digue. Les premiers ont servi de revêtement aux seconds, et l'emploi des uns et des autres s'est fait simultanément, de manière à ne pas laisser les blocs naturels exposés aux puissants effets des lames. Cette action devenant assez faible à 5 mètres au-dessous des basses mers, on a fini par limiter, à 6 mètres au-dessous de ce niveau, l'emploi des blocs artificiels.

Dans un double but de solidité et d'économie, au lieu d'employer, comme dans les digues déjà citées, les produits des carrières tels que l'exploitation les fournit, en mélangeant les gros et les petits matériaux, dans la digue de Marseille on a fait occuper aux blocs naturels différentes positions suivant leurs dimensions. Au point de vue économique, les petits matériaux n'ont pas été mélangés avec les gros, afin de conserver le plus de vide possible. Au point de vue de la solidité, on a disposé les gros blocs de manière à leur faire envelopper les petits.

Ces idées rationnelles ont été pleinement confirmées par l'expérience : en effet, la partie de la digue extérieure qui couvre le bassin de la Joliette a été commencée en 1845; celle qui abrite le bassin de la gare maritime date de vingt ans, et enfin celle du bassin National est terminée depuis cinq ans. Or toutes ces parties de la digue sont aujourd'hui en bon état de conservation. Si donc, il y a trente-deux ans, lors de la présentation du système, on pouvait dire qu'il fallait être réservé dans

l'appréciation de son efficacité, qu'il fallait laisser au temps le soin de prononcer sur sa valeur, il ne saurait plus en être de même aujourd'hui : le temps a prononcé; il a établi la bonté du système dont l'emploi doit nécessairement se généraliser, par suite des économies notables qu'il réalise.

Môles intérieurs. — Les môles intérieurs sont constitués au moyen de murs de quai, qui en forment le pourtour, et de remblais ordinaires, apportés dans l'enceinte ainsi préparée.

Les murs de quai reposent sur une digue sous-marine en blocs naturels, par l'intermédiaire d'une fondation en blocs artificiels. Ces blocs sont placés en parpaing, à joints contrariés, sans mortier, sur une hauteur de 6 mètres au-dessous du niveau des basses mers. Dans les travaux aujourd'hui en cours d'exécution on a porté cette hauteur à 7 mètres.

Le système de blocs artificiels superposés, sans mortier, se prête parfaitement à tous les mouvements qui peuvent se présenter dans les constructions établies sur des terrains mobiles, comme les digues sous-marines, quand elles sont d'une construction récente.

2° INSTRUMENTS DE RADOUB.

Les instruments de radoub occupent un emplacement rectangulaire de 745 mètres de longueur sur 280 mètres de largeur, à l'est du bassin National et parallèlement à ce bassin.

Ils comprennent actuellement :

1° Un bassin de réparations à flot, faisant également

fonction de bassin d'évitement, d'une longueur de 360 mètres sur 160 mètres de largeur et 8 mètres de tirant d'eau;

2° Quatre formes de radoub en maçonnerie entièrement terminées, et les têtes de deux nouvelles formes à construire ultérieurement;

3° Un canal de 28 mètres de largeur, de 92 mètres de longueur et de 8 mètres de tirant d'eau, mettant en communication le bassin des réparations à flot avec le bassin National;

4° Les emplacements nécessaires pour établir des ateliers de réparations et pour pouvoir porter à onze le nombre des formes de radoub.

Les formes exécutées jusqu'à ce jour offrent :

La forme n° 1, la plus grande, une longueur totale de 141^{m},50, et un tirant d'eau de 7 mètres au-dessous des basses mers ;

La forme n° 2, une longueur de 110 mètres et un tirant d'eau de 6 mètres;

Les formes n°s 3 et 4, une longueur de 90 mètres et un tirant d'eau de 6 mètres.

La pente longitudinale de ces diverses formes est de 0^{m},01 par mètre.

Tous les travaux des instruments de radoub ont été exécutés à sec, à l'abri d'un batardeau en béton de 1,218 mètres de longueur, établi, après un dragage préalable, sur le rocher ou sur l'argile dure, par des fonds variant entre 0 et 11 mètres.

Les bateaux-portes destinés à la fermeture des formes de radoub consistent en une coque étanche en fer, sus-

ceptible d'être échouée ou mise à flot sans le secours des pompes, par la simple addition ou la suppression d'un lest d'eau amovible.

Les divers appareils servant à l'épuisement des formes se composent de quatre machines à vapeur indépendantes, donnant le mouvement à quatre pompes centrifuges pouvant élever ensemble, par heure, 10,000 mètres cubes d'eau à $4^{m},50$ de hauteur.

Cette puissance, supérieure aux besoins actuels, a été donnée en prévision de l'augmentation du nombre des formes qui, ainsi qu'il a été dit précédemment, peut être porté à onze.

La passe d'entrée des instruments de radoub, de 28 mètres de largeur, est franchie par un pont tournant en fer d'une seule travée, ayant 62 mètres de longueur sur $15^{m},94$ de largeur et donnant passage à une voie ferrée, à une voie charretière et à une passerelle extérieure pour les piétons. Ce pont mobile est un des plus considérables qui aient été construits.

Le tablier mobile, dont le poids atteint 700 tonnes, effectue sa rotation sur deux galets de culasse et sur un pivot central soulevé par de l'eau comprimée à 270 atmosphères.

En service, le pont s'appuie : à l'extrémité de la volée, sur trois rouleaux en fer forgé qui permettent sa dilatation ; à l'extrémité de la culasse, sur trois cônes de calage qu'on manœuvre simultanément au moyen d'une barre qui les réunit; enfin, dans la partie centrale, sur un chevêtre posé lui-même sur des sommiers en pierre de taille.

L'ouverture du pont donne lieu à trois opérations : 1° décaler l'extrémité de la culasse; 2° soulever le pont au moyen de la presse jusqu'à ce que les appuis de l'extrémité de la volée soient complétement dégagés; 3° rotation du pont. Ces trois opérations exigent 2 minutes 58 secondes. La fermeture du pont comporte trois opérations inverses qui durent 3 minutes 2 secondes.

Un seul homme suffit pour exécuter ces manœuvres, quelle que soit la violence du vent, et à Marseille cette violence est quelquefois assez grande pour que les navires soient conduits à retarder leur départ.

Ce pont repose sur une tour en maçonnerie de $9^{m},50$ de diamètre, fondée sur l'argile dure, à une profondeur de $8^{m},30$ au-dessous des basses mers.

Les instruments de radoub ont comporté une dépense de 8 millions de francs.

3° PONT-LEVIS OU TOURNANT À VOLONTÉ.

Ce pont est établi sur la passe de la traverse de la Joliette qui a $21^{m},30$ de largeur. Il est disposé pour un double mouvement, l'un de rotation comme dans la plupart des ponts mobiles, l'autre de relèvement de la volée. Cette disposition est justifiée par les considérations suivantes :

La circulation maritime journalière dans la passe de la traverse de la Joliette est d'environ dix bâtiments mâtés et quarante embarcations de servitude. Les bâtiments exigent pour leur passage la rotation complète du pont; mais les embarcations peuvent effectuer ce passage moyennant le simple relèvement partiel de la volée, ce qui

s'accomplit plus rapidement que la rotation. Il en résulte que, grâce à la double disposition adoptée, on arrive à diminuer la durée des interruptions successives du passage sur le pont. La diminution totale de ces interruptions est, dans les conditions actuelles, de quatre heures pour une journée de dix heures de travail.

La longueur de la travée métallique du pont est de $41^{m},09$; sa largeur est de 8 mètres, comprenant une voie ferrée, une voie charretière et deux trottoirs.

Lorsque le pont est fermé, il repose sur des sommiers fixes placés en quatre points de sa longueur : sur les arêtes des deux quais de la passe, sous le chevêtre et sous l'avant-dernier montant de la culasse. Dans cette position les galets de culasse sont séparés du rail circulaire sur lequel ils doivent tourner, par un jour de $0^{m},03$.

Les manœuvres s'effectuent au moyen d'eau à 52 atmosphères de pression prise dans les accumulateurs de la Compagnie des Docks.

Cette eau s'introduit dans une presse hydraulique verticale dont le piston, placé un peu en deçà du centre de gravité du tablier par rapport à la culasse, aide à soulever le pont et en outre sert de pivot pour sa rotation.

Lorsque le piston monte, le pont soulevé tourne autour de l'horizontale passant par l'appui voisin des galets de culasse jusqu'à ce que ceux-ci soient descendus assez pour porter sur le rail; à partir de ce moment c'est le nouvel appui qui forme la charnière horizontale du tablier, et celui-ci se détache des sommiers voisins comme il s'était précédemment détaché des sommiers plus éloignés.

Pour la rotation, la montée du pivot est arrêtée à $0^{m},20$:

pour le grand levage elle peut s'élever jusqu'à $0^m,90$. La pente du tablier est alors de $0^m,068$ par mètre et la hauteur libre entre le niveau des eaux moyennes et le dessous de la volée atteint $4^m,60$ vers son extrémité, tandis qu'on n'a que $1^m,80$ au-dessous du pont en service.

Le piston dont le diamètre est de $0^m,85$ a une longueur de 2 mètres, de façon qu'il est encore engagé de $1^m,10$ dans la presse au moment de la montée extrême.

Toutes les manœuvres sont exécutées avec la plus grande facilité par un seul mécanicien, placé dans un poste attenant à son logement, d'où il découvre le pont et la passe.

Ce pont, dont le poids atteint 300 tonnes, repose sur une pile en maçonnerie de 6 mètres de diamètre, fondée au moyen d'un caisson à air comprimé, sur le rocher, à une profondeur de 14 mètres au-dessous des basses mers.

Il a exigé une dépense totale de.....	316,000 fr.
Dont pour la travée proprement dite, non compris les maçonneries aux abords.....	250,000
Pour la pile de fondation.....	66,000
Total pareil.....	316,000 fr.

Les grands travaux du port de Marseille datent principalement de 1844. Depuis cette époque jusqu'en 1857, ils ont été successivement dirigés par MM. les ingénieurs en chef Toussaint, Bergis, Montet et de Montricher, et par M. Pascal, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées. Depuis 1857 ils ont été dirigés par M. Pascal, ingénieur en chef, et MM. André, Bernard et Denamiel, ingénieurs ordinaires des ponts et chaussées.

Parmi les conducteurs qui ont secondé les ingénieurs.

on doit citer : MM. Rullier, Lévens, Coignard, Sébillotte, Pissère et Bénézeth.

Les entrepreneurs ont été MM. Dussaud frères, Barthelon, Rabattu, Vaccaro et Michel (Désiré).

Les bateaux-portes, les machines d'épuisement et le pont tournant ont été projetés par M. Barret, ingénieur de la Compagnie des Docks, et exécutés par la Société nouvelle des Forges et Chantiers de la Méditerranée, sous la direction de cet ingénieur.

XXXII

CANAL SAINT-LOUIS,

AMÉLIORATION DES EMBOUCHURES DU RHÔNE.

Dessins à des échelles variant de 0m,00 002 à 0m,02.

Tous les essais tentés pour abaisser la barre du Rhône à son embouchure dans la Méditerranée ayant échoué, on s'est décidé à ouvrir une communication directe entre le golfe de Foz et la partie profonde du fleuve en amont de la barre, au moyen d'un canal qui est désigné sous le nom de canal Saint-Louis.

Le canal Saint-Louis se détache du Rhône, sur la rive gauche, à l'origine de la digue construite en 1856 pour l'endiguement du bras de l'Est, à 600 mètres à l'aval de la tour Saint-Louis; il se dirige en ligne droite sensiblement de l'ouest à l'est et aboutit à la mer dans le golfe de Foz, en face du port de Bouc. A son origine, du côté du Rhône, il est fermé par une écluse à sas : à la mer, il débouche dans un avant-port formé par deux jetées. A la sortie de l'écluse, du côté du canal, on a creusé un bassin dont la destination première était uniquement de permettre aux navires d'évoluer pour passer de l'écluse dans le canal, et inversement.

Le canal Saint-Louis étant établi pour suppléer l'embouchure naturelle du Rhône, il n'était pas nécessaire de lui donner un tirant d'eau supérieur à celui que l'on rencontre dans le fleuve en aval du port d'Arles. Entre Arles

et Saint-Louis, on ne trouve guère aujourd'hui que 2 mètres d'eau et il ne paraît pas que l'on puisse, avec les améliorations que l'on poursuit en ce moment, obtenir jamais un tirant d'eau de plus de 4 mètres à cause des bancs de poudingue très-dur que l'on rencontre en certains points du lit du fleuve. Il suffisait donc de donner à l'embouchure artificielle du canal un tirant d'eau de 4 mètres au plus. Mais on a pensé qu'une fois l'entrée du Rhône rendue possible, la navigation fluviale prendrait immédiatement de tels développements qu'il était nécessaire de lui assurer la possibilité de se mettre en rapport direct avec la navigation maritime. L'Administration s'est décidée à donner au canal Saint-Louis un tirant d'eau de 6 mètres. Avec un canal maritime à grande section, il fallait nécessairement sur le Rhône un port capable de recevoir les navires qui viendraient de la mer par le canal. Ce port, on l'a créé à Saint-Louis même; on a agrandi le bassin d'évolutions de telle sorte que des navires pussent y faire des opérations; on l'a muni de quais verticaux et on s'occupe de construire des quais sur le Rhône, immédiatement en amont du débouché du canal.

Le canal proprement dit, depuis son entrée dans le bassin jusqu'à la plage, a 3,300 mètres de longueur.

Il a 6 mètres de profondeur au-dessous du niveau des basses mers.

La largeur au plafond est de 30 mètres et au niveau des basses mers de 63 mètres. Les berges sont défendues par des perrés en maçonnerie de $0^m,40$ d'épaisseur, inclinés à 45°, qui s'élèvent à $1^m,30$ au-dessus du niveau des basses mers, dans le canal proprement dit, et à + ($1^m,50$)

à la traversée du bassin. Les perrés ne descendent que jusqu'à la cote -(2 mètres) : ils reposent sur une banquette horizontale qui a $6^m,50$ de largeur : de cette banquette au plafond, les terres sont coupées suivant un talus incliné à 2 de base pour 1 de hauteur.

De chaque côté du canal, on a créé des chemins de halage de 12 mètres de largeur : leur plate-forme est à la cote+(2 mètres); tout le long de ces chemins de halage on a mis en dépôt les terres provenant du creusement du canal : ces dépôts ont été tenus à la cote + ($2^m,50$) au moins, de telle sorte qu'ils s'élèvent au-dessus des plus hautes eaux du Rhône et défendent le canal en cas d'inondation du fleuve.

Le bassin a 400 mètres de long sur 300 mètres de large. On a construit des murs de quai sur trois de ses côtés : la longueur des murs de quai aujourd'hui exécutés est de 850 mètres, elle sera de 1,100 mètres lorsque les murs seront faits sur la totalité de la longueur des trois côtés ouest, nord et est. Le couronnement de ces quais est établi à la cote + ($2^m,50$) : les terre-pleins en arrière sont arasés au moins à la même hauteur.

Les travaux du canal et du bassin ont été exécutés à sec, à l'abri de deux batardeaux, l'un du côté de la mer, l'autre du côté des fouilles de l'écluse : vers le milieu de la longueur du canal, on avait établi un troisième batardeau, dont le but était d'empêcher les eaux d'envahir la totalité des fouilles, en cas de rupture de l'un des deux batardeaux extrêmes. Ces batardeaux étaient formés partie avec le terrain naturel, partie avec des terres argileuses prises dans les déblais.

Les épuisements se faisaient au moyen de pompes rotatives Neut et Dumont mises en mouvement par des locomobiles. Il y avait un centre d'épuisement pour chacun des deux biefs entre lesquels l'ensemble du canal et du bassin était divisé par le batardeau intérieur, et un centre d'épuisement de secours sur ce dernier batardeau. Chaque centre d'épuisement avait deux pompes rotatives et deux locomobiles de 8 à 10 chevaux chacune.

L'avant-port est formé par deux jetées; l'une, celle du sud, parallèle à l'axe du canal, à $48^m,25$ de distance de cet axe, s'avance jusqu'aux fonds naturels de $6^m,50$; elle a $1,746^m,20$ de longueur, l'autre a son origine à 1,350 mètres au nord du canal; elle n'est exécutée que jusqu'aux fonds naturels de $3^m,25$, et n'a que 500 mètres de longueur. Très-sensiblement normale à la direction du rivage, elle se dirige vers le musoir de la jetée Nord, dans une direction telle que, si plus tard on prolongeait les deux jetées en ligne droite jusqu'aux fonds de $7^m,50$, il resterait entre les deux musoirs une passe de 200 mètres de largeur.

Les jetées sont construites exclusivement en enrochements naturels.

La jetée Nord ne s'élève qu'à $1^m,25$ au-dessus du niveau des basses mers; elle a 4 mètres de largeur en couronne. Elle a été construite en moellons du poids de 50 kilogrammes en moyenne; ses talus ont été revêtus de moellons d'un poids moyen de 300 kilogrammes.

La jetée Sud s'élève à la cote + ($2^m,50$); elle a, de plus, un bombement de $0^m,20$; sa largeur en couronne est de 2 mètres. Le corps de la jetée est constitué par des moel-

lons du poids de 50 kilogrammes en moyenne. Le revêtement du talus Nord est formé de moellons de 300 kilogrammes environ, celui du côté Sud de blocs pesant au moins 500 kilogrammes par échantillon. Au musoir qui termine la jetée Sud et qui a 20 mètres environ de diamètre au sommet, on n'a employé en revêtement que des blocs de 1,200 kilogrammes.

Au-dessus du niveau des basses mers, les enrochements qui forment revêtement ont été arrangés soigneusement à la main et calés avec des éclats de pierre. De chaque côté de la jetée Sud, on a formé au niveau des eaux un cordon de blocs et de gros moellons destinés à parer aux éboulements des talus inférieurs : on préserve ainsi les revêtements soignés du dessus de la jetée.

L'inclinaison des talus des jetées est de 2 mètres de base pour 1 mètre de hauteur.

Les travaux du canal, commencés en 1864, n'ont été terminés qu'à la fin de 1873.

L'écluse doit livrer passage à la fois aux navires de mer qui voudraient entrer dans le Rhône et aux bateaux du Rhône qui auraient à venir dans le canal. Ses dimensions ont été calculées en conséquence, savoir :

Largeur entre bajoyers	22m,00
Tirant d'eau sur l'axe, en basse mer	7 ,50
Longueur utile du sas	160 ,00
Longueur totale de l'ouvrage	184 ,50
Hauteur d'eau sur le busc	7 ,50
Le tirant d'eau du canal est de	6 ,00

L'écluse est inclinée vers l'aval du fleuve sous un angle de 14° 2′ 10″. Cette écluse est pourvue de deux paires de

portes busquées; la flèche des buscs est d'un sixième de la largeur de l'écluse.

Les bajoyers de l'écluse sont verticaux. Le radier du sas est dressé suivant un arc de cercle de 2 mètres de flèche; le radier des chambres des portes est à 8 mètres en contre-bas du niveau des basses mers, soit à $0^m,50$ en contre-bas du point le plus bas du radier du sas. Les enclaves ont $12^m,60$ de longueur sur $0^m,85$ de profondeur.

Dans l'épaisseur des bajoyers des têtes, sont ménagés des aqueducs pour le remplissage et pour la vidange du sas. Ces aqueducs ont $1^m,25$ de largeur sur 2 mètres de hauteur à leur débouché dans les enclaves des chambres des portes; le seuil de ces aqueducs est horizontal et à la cote ($5^m,50$), soit au niveau de la naissance de la courbe du radier du sas.

Les têtes de l'écluse, les bajoyers du sas et les murs en retour ont été fondés sur pilotis; le radier du sas est fondé directement sur le sol.

Les pieux en bois de pin écorcé ont $0^m,30$ de diamètre moyen et 12 mètres de longueur; ils sont espacés de $1^m,15$ d'axe en axe. Ils sont coiffés, sans grillage, d'un massif de béton qui a $1^m,50$ d'épaisseur pour les têtes et leurs bajoyers, et 1 mètre seulement pour les bajoyers du sas; les têtes des pieux pénètrent dans le béton de 1 mètre sous les têtes et de $0^m,50$ sous les bajoyers du sas, de telle sorte que l'épaisseur de la couche de béton, au-dessus du plan de recepage des pieux, est partout de $0^m,50$.

Le mur de quai Est du chenal d'accession au Rhône est fondé, comme ceux du bassin, directement sur le sol.

Le mur de quai Ouest du chenal, le musoir et le quai

dans le Rhône, ont été construits sur massifs de béton immergé.

L'écluse et ses murs en retour, le mur du quai Est du chenal, ont été entièrement construits à sec à l'abri d'un batardeau. Ce batardeau était simplement formé par le terrain naturel que l'on avait laissé intact le long du Rhône sur une largeur de quelques mètres. Un batardeau semblable séparait les fouilles de l'écluse de celles du bassin, afin qu'en cas de rupture du batardeau du Rhône le bassin ne fût pas envahi par les eaux.

L'exécution des terrassements n'a rien présenté de particulier, non plus que celle des maçonneries. Le battage des pieux a été effectué au moyen de six sonnettes; le mouton du poids de 800 kilogrammes était soulevé par un treuil à vapeur; chacune de ces sonnettes pouvait battre aisément quinze pieux par jour; les pieux, ayant 12 mètres de longueur, s'enfonçaient totalement; on n'obtenait guère plus de $0^m,10$ de refus pour une volée de dix coups et une chute de 2 mètres.

Les travaux de l'écluse ont été terminés en juin 1873.

Les portes de l'écluse sont en tôle.

Chaque vantail de $11^m,627$ de largeur, $9^m,50$ de hauteur et $0^m,666$ d'épaisseur, se compose de onze poutres horizontales ou entretoises identiques, également espacées et assemblées à leurs extrémités sur deux poutres verticales, la poutre tourillon et la poutre busquée : les entretoises sont formées d'une âme pleine en tôle de $0^m,010$ et de deux cornières de $\frac{70 \times 70}{10}$; les poutres verticales sont faites de la même manière en tôle et cornières. Sur le cadre constitué par ces poutres horizontales et verticales

est appliqué, des deux côtés, un bordage continu en tôle. Chaque vantail forme ainsi une caisse rectangulaire dont le volume est tel que le poids de l'eau qu'elle déplacerait serait supérieur au poids même de la caisse.

On a disposé la partie moyenne de cette caisse, qui est au-dessous du niveau des eaux, de manière à former flotteur, afin de réduire le poids sur les pivots et l'effort sur les colliers : les bordés d'amont au-dessus et au-dessous du flotteur sont percés de trous d'hommes par lesquels l'eau pénètre librement; le vantail flotte ainsi toujours dans les mêmes conditions, quelle que soit la hauteur des eaux en amont. On accède au flotteur ou caisse à air par des cheminées intérieures.

Chaque vantail est muni d'une pompe qui sert à extraire l'eau qui s'introduit dans les flotteurs.

On peut fermer les trous d'hommes des bordés d'amont et épuiser les eaux qui se trouvent dans les compartiments au-dessus et au-dessous du flotteur; le vantail flotte alors tout entier, et il serait assez facile de le visiter et de le réparer.

L'épaisseur des vantaux est constante sur toute la hauteur, la largeur des entretoises varie seule avec l'épaisseur des bordés.

Les portes s'appuient sur le busc par l'intermédiaire d'un cadre en bois de chêne boulonné sur la charpente d'ossature des portes. Les poteaux busqués sont en bois de chêne.

Sur le bordé d'aval est boulonné un grillage en charpente qui le protége contre le frottement des navires.

Enfin, les portes sont surmontées de passerelles dont

on peut rabattre les garde-corps lorsque des navires franchissent l'écluse; grâce à cette disposition, on évite toute avarie de ces garde-corps.

Les fers et tôles employés dans la construction ont été essayés à la traction : ils ont résisté sans se rompre à un effort de 34 kilogrammes par millimètre carré de section dans le sens perpendiculaire au laminage.

On a choisi pour les pivots, crapaudines, tourillons et équerres, un acier Bessemer qui, aux essais, donnait à la traction une résistance de 68 kilogrammes par millimètre carré, avec un allongement de 16 p. o/o.

Les portes ont été montées sur place, avant la mise de l'eau dans le canal, exactement à la place qu'elles devaient occuper.

Le poids d'un vantail, avec ses bois, est de 49 tonnes; dans l'eau, grâce au flotteur, il n'est plus que de 7 tonnes.

Tous les ouvrages à exécuter à sec étaient terminés en mars 1871.

Le 17 avril 1871, on a commencé à introduire les eaux, et le 4 mai suivant on ouvrait les batardeaux du Rhône et de la mer. Avant de mettre l'eau, on avait, au dernier moment, enlevé les batardeaux qui étaient l'un vers le milieu du canal, l'autre entre le bassin et l'écluse; les batardeaux des extrémités ont été enlevés au moyen de dragues à vapeur.

Les digues insubmersibles de la rive gauche du Rhône s'arrêtaient à 4 kilomètres en amont de Saint-Louis, de sorte que, pendant les fortes crues, le Rhône envahissait les terrains bas qui longent au nord le canal Saint-Louis et ses eaux venaient se déverser auprès de l'avant-port.

Pour remédier à cet inconvénient, on a dû exécuter, comme complément indispensable des travaux du canal, une digue insubmersible de 4 kilomètres de longueur pour relier la digue insubmersible existante aux terre-pleins du canal Saint-Louis.

Les travaux de cette digue, qui est désignée sous le nom de « digue de l'Eysselle, » ont été terminés en décembre 1873.

Les dépenses faites pour la création du canal et du port de Saint-Louis, y compris les travaux complémentaires, s'élèveront à 15,400,000 francs, à savoir :

1° Canal, bassin et avant-port	10,053,000f,00c
2° Écluse	3,741,649 74
3° Portes de l'écluse	174,496 74
4° Fanal de la jetée Sud	23,900 00
5° Digue de l'Eysselle	25,742 98
6° Quais sur le Rhône	684,206 13
7° Frais généraux (environ)	697,004 41
Total	15,400,000f,00c

Les projets du canal Saint-Louis ont été dressés et les travaux ont été exécutés sous la direction de M. Pascal, ingénieur en chef du service spécial maritime des Bouches-du-Rhône.

MM. Bernard et Guérard, ingénieurs ordinaires des ponts et chaussées, ont été chargés de l'exécution des travaux.

M. Reybert, conducteur des ponts et chaussées, est resté constamment attaché, depuis 1846, aux études et aux travaux des embouchures du Rhône et du canal Saint-Louis.

XXXIII

ATLAS DES PORTS DE FRANCE.

Deux portefeuilles de plans et de cartes.
Deux volumes de notices.
Les cartes à l'échelle de $0^{m},0\ 000\ 075$; les plans à l'échelle de $0^{m},0\ 002$.

Une décision ministérielle, du 24 octobre 1868, a ordonné la publication d'un atlas des ports de commerce de France, et a chargé une commission d'arrêter les bases et de diriger l'exécution de ce travail.

L'ouvrage comprend, outre les plans de tous les ports, des cartes à la fois hydrographiques et territoriales, destinées à représenter les atterrages de nos principaux établissements maritimes, ainsi que leurs moyens de communication avec l'intérieur du pays, et des notices donnant les renseignements les plus essentiels sur les abords, les conditions nautiques, le développement successif, l'état actuel et la statistique de chacun des ports.

La partie publiée embrasse les ports des départements du Nord, du Pas-de-Calais, de la Somme, de la Seine-Inférieure, de l'Eure, du Calvados et de la Manche jusqu'à Granville. Le texte constitue les deux premiers volumes des notices.

La commission de l'atlas des ports est présidée par M. L. Reynaud, inspecteur général des ponts et chaussées. Elle a eu d'abord pour secrétaire M. l'ingénieur baron Baude, qui, enlevé par une mort prématurée, a été rem-

placé par M. l'ingénieur DE DARTEIN. Un autre ingénieur, M. E. COLLIGNON, a été également nommé secrétaire de la commission; il est chargé de tout ce qui est relatif à l'impression des notices.

Chef du bureau de dessin, M. le conducteur HUGUENIN.

Graveurs des planches, MM. DULOS et PEROT.

CINQUIÈME SECTION.

PHARES ET BALISES.

XXXIV

ÉTAT DE L'ÉCLAIRAGE ET DU BALISAGE DES CÔTES DE FRANCE.

Un volume grand in-8° avec une carte.

Ces documents font connaître l'état de l'éclairage et du balisage des côtes de France, au 1er janvier 1876.

A cette époque, les phares étaient au nombre de 379, non compris ceux de l'Algérie, et ce chiffre se composait ainsi qu'il suit :

Phares	de 1er ordre	45
	2e ordre	6
	3e ordre	31
	4e ordre	33
	5e ordre ou fanaux	254
Feux flottants		10

290 phares ont été créés ou renouvelés depuis le commencement de 1848.

Le balisage maritime n'avait pas encore été sérieusement entrepris à cette époque.

XXXV.

PHARE DU CAP SPARTEL

(MAROC).

Un dessin à l'échelle de $0^{m},04$.

Les abords du cap Spartel, qui est situé au sud de l'entrée du détroit de Gibraltar, avaient été le théâtre de nombreux sinistres, lorsque, en 1852, M. Jagerschmidt, gérant de notre consulat à Tanger, proposa d'élever un phare sur ce point. Il paraissait difficile de demander un travail de cette nature au gouvernement marocain, qui, ne possédant pas de marine, pouvait ne s'y reconnaître aucun intérêt, et pouvait même, jusqu'à un certain point, se montrer peu disposé à accueillir une mesure dont l'effet devait être de priver ses sujets du bénéfice, fort immoral assurément, mais assez considérable, qu'ils retiraient des épaves roulées sur leurs plages. Un concours des puissances européennes le plus intéressées dans la question était regardé comme nécessaire pour surmonter les résistances prévues, subvenir aux dépenses de l'entreprise et assurer plus tard l'entretien du feu.

Soumise à la commission des phares, cette idée y fut accueillie avec chaleur et énergiquement appuyée. Malheureusement le concert préalable qu'il s'agissait d'établir souleva des difficultés, et le succès paraissait douteux, sinon impossible, lorsqu'en 1860, de nuit et par une grosse mer, la frégate brésilienne *Dona Isabel*, montée par

un nombreux équipage et par les élèves de la marine du Brésil, vint se briser près du cap qu'elle n'avait pu reconnaître. Ce sinistre, plus douloureux qu'aucun des précédents, car deux cent cinquante hommes y trouvèrent la mort, émut profondément l'opinion publique et rappela le projet présenté. L'empereur du Maroc, non-seulement donna son assentiment à la mesure, mais encore s'engagea à subvenir aux dépenses de la construction, sous la seule condition que la France chargerait un de ses ingénieurs de la direction des travaux.

Cette mission, qui était jugée difficile et devait rencontrer bien plus d'obstacles encore qu'il n'était donné d'en prévoir, fut confiée à M. Jacquet, conducteur des ponts et chaussées, attaché au service des phares, qui se rendit immédiatement sur les lieux.

Dès le mois de juin 1861, une exploration faite à bord du bâtiment de la marine française *le Coligny* lui avait permis de déterminer l'emplacement à assigner au phare. D'accord avec le commandant de ce navire, il fixa son choix sur un petit plateau s'élevant à 70 mètres à pic du côté de la mer, à 500 mètres environ dans le nord-est de la pointe du cap, d'où l'on découvre un horizon étendu, tant du côté du large que dans la direction du détroit, et où l'on n'a point à redouter les brumes intenses qui couronnent parfois le sommet de la montagne.

L'endroit se trouvait offrir quelques ressources en fait de matériaux de construction, et elles ont été d'autant plus précieuses que, des sentiers abrupts et à peine tracés étant le seul moyen de communiquer avec Tanger, le centre de population le plus rapproché, les transports ne

pouvaient s'effectuer qu'à dos d'âne, étaient fort dispendieux et n'admettaient pas d'objets d'un poids un peu considérable.

Le plateau est entouré de roches d'un grès fin, d'une dureté suffisante et facile à travailler; à peu de distance au-dessous on a découvert un dépôt calcaire apte à fournir d'excellente chaux; à proximité encore se sont rencontrés de l'argile plastique et un amas de sable siliceux; enfin deux sources légèrement ferrugineuses, qui paraissent ne jamais tarir, sourdent de la roche à quelques mètres au-dessus de la plate-forme. Mais pour tirer parti de ces ressources, il fallait, dans ce désert, installer une exploitation de carrières, une chaufournerie, une briqueterie, des logements pour l'ingénieur et les ouvriers, un service de vivres, etc.; et l'ingénieur n'avait à sa disposition que des hommes pris dans la campagne, réunis et retenus de force, fréquemment renouvelés, peu habiles et surtout fort peu désireux de concourir au succès d'une œuvre qu'ils ne comprenaient pas, et qui était dirigée par un infidèle dont les ordres leur étaient transmis par des interprètes sans autorité. Il y a bien au Maroc des maçons qui ne manquent pas d'un certain art, qui exécutent assez habilement cette ornementation pleine de gracieuses fantaisies d'où l'architecture mauresque tire ses principaux effets; mais on ne pouvait attendre d'eux la solidité de construction qu'exigeait un phare exposé à des pluies diluviennes et aux plus violentes tempêtes. Les tailleurs de pierre ignoraient l'usage de l'équerre et n'admettaient pas qu'on pût mettre en œuvre des morceaux de telle dimension qu'il ne fût facile à un homme de les transporter. Enfin les charpentiers

n'emploient jamais que des madriers et ne se doutent pas de ce qu'est un assemblage. On aurait pu sans doute se procurer des ouvriers en Espagne, mais la main-d'œuvre est à trop bas prix au Maroc pour que le haut fonctionnaire qui avait les travaux dans ses attributions ait pu se résoudre à accorder des salaires comparativement exorbitants, alors surtout que la nécessité ne lui en paraissait pas bien établie.

Le Gouvernement français vint au secours de l'ingénieur, en lui envoyant à la fin de 1861 un appareilleur et un tailleur de pierre, et plus tard deux autres ouvriers.

Enfin, grâce au dévouement et à l'énergie de l'ingénieur, cet important travail, exécuté dans des conditions si défavorables, était complétement terminé en 1864, et un feu fixe de premier ordre était allumé au sommet de la tour le 15 octobre de la même année.

Afin d'assurer la régularité de l'entretien du phare, une convention a été passée entre le Maroc, d'une part, et les représentants des puissances au nombre de dix qui s'y sont reconnues intéressées, de l'autre, savoir : la France, l'Angleterre, l'Espagne, l'Italie, l'Autriche, la Belgique, la Hollande, le Portugal, la Suède et les États-Unis d'Amérique.

Ces puissances contribuent aux dépenses, chacune pour 1,500 francs par an, et leurs représentants à Tanger, réunis en commission, statuent sur toutes les mesures à prendre dans l'intérêt du service. Les gardiens du phare sont européens; ils ont une garde marocaine qui est composée de quatre hommes et d'un caïd, et est à la solde de la commission consulaire.

L'édifice consiste en une tour carrée au dehors, circulaire au dedans, située sur l'un des côtés d'une cour entourée de portiques sous lesquels sont ouverts et éclairés les logements et magasins. Ces salles sont voûtées et couvertes en terrasse. Elles ne sont percées au dehors que de très-étroites ouvertures, de sorte que, la porte étant fermée, les gardiens sont à l'abri des surprises nocturnes et pourraient même résister aux attaques des indigènes de manière à permettre aux secours de Tanger d'arriver en temps utile.

M. l'ingénieur Jacquet a tenu un compte aussi exact que possible des dépenses faites par le Maroc, dépenses dans lesquelles il avait eu la prudence de ne pas intervenir, et qui étaient réglées et soldées par un agent spécial, un amine. Il les évalue à la somme de..... 256,138 fr.
y compris l'acquisition de l'appareil lenticulaire, qui a été fourni par MM. L. Sautter et compagnie.

Les dépenses supportées par le Gouvernement français se sont élevées à la somme de..... 65,736

Total des dépenses.... 321,874 fr.

XXXVI

PHARE DE LA NOUVELLE-CALÉDONIE.

Un modèle à l'échelle de $0^m,04$ (un vingt-cinquième).

Le phare que représente ce modèle a été installé en 1865 sur l'îlot Amède, à 13 milles de Port-de-France, dans la Nouvelle-Calédonie.

Il est entièrement exécuté en fer, suivant des dispositions analogues à celles du phare des Roches-Douvres, qui sont décrites plus bas.

Il a été fondé sur un massif en béton dans lequel ont été noyés les patins en fonte qui supportent les montants.

La tour a 45 mètres de hauteur depuis le niveau du sol jusqu'à la plate-forme du couronnement, et le foyer de l'appareil à feu fixe qu'elle supporte domine de 50 mètres le niveau des plus hautes mers.

Les dépenses de la construction métallique se sont élevées, y compris montage et démontage à Paris, à la somme de 228,706 fr. 75 cent., laquelle se compose ainsi qu'il suit :

Fonte ordinaire pour patin des fondations et socle du rez-de-chaussée, 82,093 kilogrammes, à 40 centimes.....	$32,837^f,20$
Fonte ouvragée pour porte, corniche, escaliers, 45,887 kil. 48, à 55 centimes.....	25,238,11
Fers et tôles, 193,466 kil. 89, à 70 centimes.....	135,426,82
Fers ajustés pour chambranles, châssis, rampes, etc. 17,872 kil. 97, à 1 fr. 40 cent.....	25,022,16
Peinture au minium à trois couches, $5,059^m,23$, à 1 franc..	5,059,23
Bronzes, main courante en acajou, vitrage, modèles, etc.....	5,123,23
Total.....	$228,706^f,75$

On ne pouvait songer à élever une construction en maçonnerie sur un îlot désert, dans une colonie dépourvue de ressources, et l'installation de la tour métallique a même présenté d'assez grandes difficultés; mais elles ont été très-habilement surmontées par M. Bertin, conducteur des ponts et chaussées, chargé de la direction du travail. Le nouveau feu, qui est appelé à rendre les plus grands services à la navigation, a été allumé pour la première fois le 15 novembre 1865.

Les travaux ont été exécutés par ordre de M. le ministre de la marine.

Auteurs du projet :

MM. Léonce Reynaud, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur du service des phares et balises, et Émile Allard, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Constructeur de la tour métallique et du modèle, M. Rigolet.

XXXVII

PHARE DES ROCHES-DOUVRES.

Dessins aux échelles de $0^m,01$ et de $0^m,04$.

Le plateau des Roches-Douvres est le plus avancé au nord des innombrables écueils qui rendent si dangereuse la navigation des côtes de Bretagne. Il est situé à peu près à égale distance entre l'île de Bréhat et l'île de Guernesey, à vingt-sept milles marins environ, au large du port de Portrieux.

La nécessité d'établir un phare sur ce point était reconnue depuis longtemps; mais la construction d'une haute tour en maçonnerie, dans des parages où la mer est habituellement très-grosse parce que les courants de marée y sont de grande intensité, devait présenter beaucoup de difficultés et exiger par suite des dépenses considérables, alors surtout qu'on ne pouvait disposer que de bateaux à voile qui, obligés de prendre par le travers, à l'aller comme au retour, des courants qu'ils n'auraient pu surmonter, eussent été fréquemment condamnés à des voyages infructueux. Les constructions en fer et la navigation à vapeur ont paru résoudre le problème, et dans sa séance du 24 janvier 1862 la commission des phares a proposé de signaler les Roches-Douvres par un phare de premier ordre à feu scintillant.

La roche sur laquelle il est établi est située à peu près au milieu du côté sud du plateau; elle s'élève au niveau des hautes mers, et le soubassement en maçonnerie de

l'édifice a $2^m,10$ de hauteur. La tour métallique a $48^m,30$ de hauteur depuis son pied jusqu'au niveau de la plate-forme supérieure et $56^m,15$ jusqu'au sommet de la lanterne. Son diamètre, qui est de $11^m,10$ à la base pour le cercle inscrit, est réduit à 4 mètres au sommet.

Le foyer de l'appareil d'éclairage domine de 53 mètres le niveau des plus hautes mers.

Un escalier en fonte occupe le centre de l'édifice, les magasins et logements de gardiens sont distribués au pied de la construction, et sont surmontés de deux galeries intérieures où pourraient être recueillis des naufragés et où couchent les ouvriers que des circonstances exceptionnelles appellent à passer quelques jours dans le phare.

Les logements se composent d'un vestibule, dans lequel sont arrimées les caisses à eau, d'un magasin, d'une cuisine, de trois chambres de gardiens et d'une chambre réservée pour les ingénieurs en tournée d'inspection.

Une soute à charbon est ménagée dans l'épaisseur du massif au-dessous de la cage de l'escalier.

La plupart des phares métalliques exécutés jusqu'à présent sont formés de feuilles de tôle plus ou moins épaisses qui sont rivetées entre elles. Ce système n'a pas paru devoir être adopté ici : en premier lieu, parce qu'il fait reposer la solidité de l'édifice sur une enveloppe qui, grandement exposée à l'oxydation, ne peut être de longue durée, surtout si l'entretien est négligé; en second lieu, parce que la pose des rivets et le mode de construction exigent des ouvriers spéciaux et des échafaudages difficiles à établir sur une roche de dimensions restreintes. On s'est donné pour conditions :

1° De rendre l'ossature de l'édifice indépendante de l'enveloppe extérieure, de la mettre à l'abri des embruns de mer, qui sont une cause énergique d'oxydation, d'en faciliter la visite et l'entretien, et de réduire autant que possible l'étendue des surfaces qui pourraient retenir l'humidité;

2° De disposer la construction de telle sorte que la tour pût s'installer sans échafaudage montant de fond, et sans qu'il fût nécessaire de poser un seul rivet sur place.

On s'est attaché d'ailleurs à ne pas admettre de pièces de telles dimensions qu'il en résultât des difficultés d'embarquement, d'arrimage à bord ou de montage.

Seize grands montants, composés chacun de quinze panneaux sur la hauteur, constituent l'ossature de la construction. Chaque panneau est formé de fers à simple T, assemblés, consolidés et rivetés de manière à être parfaitement solidaires, et à ne pas se prêter à la déformation sous les plus fortes actions qu'on puisse prévoir. Ces panneaux se boulonnent les uns sur les autres, et des entretoises, appliquées tant au dedans qu'au dehors et également boulonnées, maintiennent les montants dans leurs positions. Enfin, sur ces dernières entretoises et sur les faces extérieures des montants, s'appuient les feuilles de tôle constituant l'enveloppe, dont les joints sont couverts par des plates-bandes en fer, et qui sont fixées par des boulons.

Chaque montant porte à son sommet une console en fonte, au-dessus de laquelle est établie en encorbellement la plate-forme qu'exige le service extérieur de la lanterne, et repose à son pied sur un grand patin également en

fonte, que saisissent six boulons de scellement en fer, et qui est noyé dans un massif de béton.

Des cloisons en briques entourent les chambres; celles de l'extérieur sont tenues à $0^m,05$ de l'enveloppe en tôle, de manière à abriter efficacement. Une aire en béton élève le sol à $0^m,40$ au-dessus du couronnement du patin en fonte, et un plancher en maçonnerie, reposant sur de petites solives en fer, forme le plafond.

Une chambre de service est ménagée au sommet de la tour; elle communique avec la chambre de la lanterne par une échelle de meunier en fonte, ainsi qu'il est d'usage.

L'escalier de la tour est en fonte avec limons en fer. Le limon extérieur est boulonné contre les montants qu'il rencontre, et il contribue ainsi à la rigidité du système. Une demi-révolution de l'escalier correspond exactement à la hauteur d'un panneau, soit $3^m,20$. La porte d'entrée est exécutée en chêne avec ferrements en bronze; tous les châssis des fenêtres sont en fer laminé.

Les fers à T, pliés suivant les angles du polygone, pour former l'arête extérieure des panneaux, ont $0^m,18$ sur $0^m,10$. Ils pèsent 31 kilogrammes le mètre. Ceux qui constituent les trois autres côtés des panneaux ont $0^m,20$ sur $0^m,10$ et pèsent 35 kilogrammes par mètre. Les panneaux des trois premiers rangs ont chacun une écharpe en diagonale, laquelle est composée d'un fer méplat de $0^m,14$ sur $0^m,014$ assemblé, au moyen de rivets, avec deux fers à T de $0^m,13$ sur $0^m,065$. Cette écharpe, rivets compris, pèse 44 kilogrammes par mètre.

Les entretoises sont formées de fer méplat de $0^m,08$ sur $0^m,016$, du poids de $9^{kg},689$ par mètre.

L'épaisseur de la tôle diminue depuis l'étage inférieur, où elle est de $0^m,010$, jusqu'au sommet, où elle est réduite à $0^m,007$.

Les couvre-joints sont exécutés en fer plat de $0^m,011$ d'épaisseur.

La dépense totale de la construction est indiquée dans le tableau suivant :

Tour métallique proprement dite, fer et fonte, 317,328 kilogrammes	223,986f,76c
Menuiserie, serrurerie, main courante en bronze, peinture	33,788,57
Lanterne, appareil d'éclairage, sonnerie pour les temps de brume	85,576,21
Emballage et transport	19,819,81
Outils, appareaux de montage, installations diverses	17,086,02
Travaux de fondation et de montage	225,100,00
Dépense totale	605,357f,37c

Un feu provisoire avait été allumé sur la tour pendant l'exécution des travaux et s'élevait en même temps qu'elle.

Le feu actuel fonctionne depuis le 6 août 1869.

Ingénieurs pour la tour métallique : MM. Léonce Reynaud, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur du service des phares, et Émile Allard, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Constructeur : M. Rigolet, à Paris.

Ingénieurs pour les travaux de fondation et de montage sur la roche : MM. Dujardin et Pelaud, ingénieurs en chef, de la Tribonnière, ingénieur ordinaire, Bertin, conducteur des ponts et chaussées, et Le Bozec, employé des ponts et chaussées.

XXXVIII

PHARE DES HÉAUX DE BRÉHAT.

Trois modèles à l'échelle de $0^m,04$ (un vingt-cinquième).

Le phare des Héaux de Bréhat est un phare de premier ordre à feu fixe et blanc; il est situé à 5 kilomètres environ du cap de la presqu'île bretonne le plus avancé vers le nord.

Hauteur du foyer au-dessus du sol.....	$49^m,40$
Hauteur du foyer au-dessus des plus hautes mers....	$45^m,00$
Portée lumineuse avec le nouvel appareil d'éclairage.	20 milles.

Les courants de marée sont très-forts dans ces parages; leur vitesse atteint jusqu'à huit nœuds, et lorsque l'agitation d'une tempête se joint à eux, la mer devient d'une violence extrême et les lames s'élèvent à une hauteur considérable, en se brisant avec fracas contre les obstacles qu'elles rencontrent.

Aussi l'édifice, consistant en une tour cylindrique de $47^m,40$ de hauteur entre l'arête de la base et le pied de la lanterne, a-t-il été divisé en deux parties principales. La partie inférieure, destinée à supporter les plus fortes pressions et à résister aux attaques les plus violentes de la mer, a dû être établie avec une très-grande solidité. A cet effet, son profil extérieur se termine suivant une courbe elliptique concave qui donne à la base un large empatement; elle a 18 mètres de hauteur, $13^m,70$ de diamètre à sa base et $8^m,60$ au sommet; la maçonnerie en est pleine

jusqu'à 1 mètre au-dessus des plus hautes mers. La partie supérieure, reposant sur un soubassement considéré comme inébranlable, a pu être réduite au degré de légèreté qu'il eût paru convenable d'assigner à une tour de même hauteur exécutée sur le continent. Elle a $27^{m},40$ de hauteur (non compris 2 mètres pour le soubassement de la lanterne), $6^{m},80$ à sa base et $5^{m},90$ au sommet.

Le diamètre intérieur de la tour est de $4^{m},20$; celui du soubassement de la lanterne, de $3^{m},20$.

La porte d'entrée, ouverte au sud, est placée à 1 mètre au-dessus des hautes mers; on y accède par une échelle en bronze logée dans une enclave. L'intérieur de l'édifice est divisé en huit étages, communiquant par un escalier, d'abord droit, puis circulaire à noyau plein, dont la cage est en partie encastrée dans l'épaisseur du mur. Les deux premiers étages servent de magasins, les quatre suivants de cuisines et de chambres de gardiens, puis viennent une chambre réservée, la chambre de service et celle de la lanterne. Les réductions successives du diamètre de la tour ont permis de ménager deux galeries extérieures.

Afin de faciliter l'accostage, l'édifice a été placé, non sur l'aiguille la plus élevée, mais sur une plate-forme assez étendue, située au sud du plateau rocheux, et à $4^{m},40$ au-dessous des plus hautes mers.

Les chantiers furent établis dans l'île de Bréhat, à 10 kilomètres environ du rocher, afin de profiter des facilités qu'elle offrait pour l'embarquement des matériaux, et de la direction favorable des courants de jusant qui portent directement de l'île vers l'emplacement du phare. Chaque assise était appareillée et complétement assemblée

avant son embarquement. Les pierres étaient débarquées sur le rocher et transportées sur la tour à l'aide d'une série de grues qui se les passaient les unes aux autres.

Pendant la construction du massif plein de la base, une grue à longue volée, maintenue par six haubans amarrés sur le rocher, était installée au centre de l'édifice sur une plate-forme en charpente que quatre poteaux élevaient à 3 mètres au-dessus du niveau des plus hautes mers. Ces poteaux, fixés chacun par cinq haubans et par deux forts scellements en fer de $0^{m},07$ de diamètre, étaient compris dans le massif de maçonnerie de blocage correspondant au vide intérieur de la tour, de sorte que la construction les enveloppait sans être gênée, et les consolidait en montant. Ils y sont restés enfouis.

Plus tard, la même grue a été placée à l'intersection de deux poutres armées qui reposaient sur la maçonnerie de la tour et se soulevaient au moyen de verrins; elle saisissait les pierres en dehors et les mettait immédiatement en place, car il était facile d'en faire varier la volée, lors même qu'elle était chargée; enfin, un échafaudage volant entourait la construction à sa partie supérieure et s'élevait avec elle.

Toute la construction est exécutée en granit parfaitement homogène, d'un grain fin et serré et d'une teinte bleuâtre; les voûtes sont construites en briques. Malgré la violence des chocs auxquels est exposé le phare de Bréhat, on n'a pas cru devoir recourir aux moyens employés en pareil cas pour rendre solidaires toutes les pierres de la construction; on s'est contenté de diviser chaque assise de soubassement en un certain nombre de

grands claveaux, et de rattacher chacun d'eux aux parties sous-jacentes par quatre dés en granit encastrés dans les deux assises voisines et placés aux angles du compartiment. Ces dispositions ont permis de rendre la construction à la fois plus rapide et plus économique, et l'expérience les a justifiées.

Les travaux ont été exécutés de 1835 à 1839.

Les dépenses de construction, non compris l'appareil d'éclairage et de la lanterne, se sont élevées à la somme de 531,679 fr. 28 cent.

Les travaux ont été projetés et exécutés sous la direction de M. Lecor, ingénieur en chef des ponts et chaussées, par M. Reynaud, ingénieur ordinaire.

XXXIX

PHARE DE LA CROIX.

Dessins à l'échelle de $0^{m},04$.

La grande passe de l'entrée du Trieux (Côtes-du-Nord) est signalée par deux feux qui sont établis, l'un sur les hauteurs de Bodic, à gauche de l'embouchure, l'autre sur une roche isolée en mer à 2,000 mètres du rivage, la roche La Croix. L'un et l'autre phare, n'étant appelés à envoyer de rayons lumineux que dans un espace angulaire très-restreint, consistent en réflecteurs paraboliques qui sont installés dans les chambres supérieures devant des fenêtres ouvertes dans la direction de la passe. Les feux sont clignotants, et ne peuvent être confondus avec aucun de ceux des environs.

La roche La Croix, dont le sommet dépasse à peine le niveau des plus hautes mers d'équinoxe, présente, entre des faces presque verticales de tous côtés, un plateau irrégulier dans lequel on a pu strictement inscrire la base circulaire de la tour. Celle-ci est divisée en quatre étages surmontés d'une plate-forme formant le seul promenoir dont puissent disposer les gardiens. Le rez-de-chaussée sert de vestibule et de magasin; le premier étage, de cuisine; le second, de chambre pour les deux gardiens; le troisième renferme la chambre de service et l'appareil d'éclairage.

L'escalier a dû être reporté dans une tourelle accolée à

la grande tour et fondée à 5 mètres en contre-bas du plateau sur lequel celle-ci repose.

Afin de laisser la partie la plus élevée de l'édifice dans l'axe même indiqué par les feux, on a arrêté l'escalier à la hauteur du troisième étage; on ne pénètre donc sur la plate-forme supérieure que par une échelle mobile établie dans la chambre de service.

L'édifice est tout entier construit en pierres de taille de granit provenant de l'Ile-Grande. Les matériaux ont été préparés dans un chantier installé au fond du petit port de Loguivy, à l'est de l'entrée du Trieux. Un chemin de fer les amenait à un embarcadère spécial, où ils étaient chargés sur des gabares qui allaient mouiller au pied même de la roche La Croix. Ce trajet ne présentait pas de difficulté, car la mer est rarement dangereuse dans ces parages; mais la violence des courants est telle que l'aller et le retour ne pouvaient se faire qu'à des heures déterminées de la marée. On ne pouvait soumettre à ces conditions le transport des ouvriers chargés de la construction; ils ont été installés sur un petit navire mouillé à demeure près du rocher. Une fois seulement, cette embarcation a rompu ses amarres, et a été obligée de se réfugier à Loguivy.

Le système de montage des matériaux, qui est d'une grande simplicité, a déjà été employé dans plusieurs circonstances analogues.

Un mât de charge avec corne oblique, établi sur une saillie de rocher du côté du chenal où accostaient les gabares, prenait les matériaux à bord, et les déposait par un mouvement tournant sur quelques pointes dressées en

plate-forme. Un autre mât semblable était installé dans l'intérieur de la tour du phare, et fixé à l'aide d'une charpente intérieure qui s'élevait successivement sur les naissances de la voûte de chaque étage, au fur et à mesure de la construction.

Ce mât était placé, non au centre de la tour principale, mais plus près de l'axe de la tour de l'escalier. De cette manière, les matériaux repris sur la plate-forme de dépôt pouvaient être apportés par la rotation de la corne sur l'une ou l'autre tour, fort près du lieu de pose. De plus, cette disposition, en laissant libre l'axe central de la tour, a permis d'y installer un appareil de vérification de pose formé d'un rayon mobile autour du centre, qui était repéré du haut en bas de la construction par un fil à plomb.

Les travaux de maçonnerie, commencés en mai 1865, ont été terminés à la fin de 1866. Ils n'ont éprouvé de temps d'arrêt que par suite des tempêtes de cette dernière année, qui ont, pendant de longs intervalles, complétement interdit l'arrivée des approvisionnements de pierres de taille.

Sauf la fourniture et la préparation des matériaux, les travaux ont été entièrement exécutés en régie, sous la direction de MM. Dujardin, ingénieur en chef, et de la Tribonnière, ingénieur ordinaire, et sous la surveillance assidue de M. le conducteur Beaugrand.

XL

PHARE DE CRÉAC'H

(ÎLE D'OUESSANT).

Dessins à l'échelle de $0^m,04$.

Le phare de Créac'h est établi sur la pointe ouest de l'île d'Ouessant. Il est destiné à signaler, mieux que ne le faisait l'ancien phare placé sur l'extrémité orientale de l'île, un atterrage que viennent reconnaître non-seulement les navires qui veulent entrer à Brest, mais encore la plupart de ceux qui, arrivant de la haute mer, cherchent l'entrée de la Manche.

La construction se compose d'une tour de 43 mètres de hauteur, depuis le niveau du sol, et de bâtiments de servitudes contenant le magasin, les pièces réservées aux ingénieurs, et trois logements pour les gardiens et leurs familles. Un passage couvert relie la tour aux servitudes. Une cour de service est établie en arrière des bâtiments.

A l'intérieur, la tour présente un vide cylindrique de 4 mètres de diamètre, dans lequel est établi un escalier en vis à jour, composé de cent quatre-vingt-quatre marches et formant cinq révolutions et demie environ. Cet escalier est éclairé par dix-huit croisées, et se prolonge par une échelle en fonte jusqu'à la chambre de service. Une seconde échelle de fonte met en communication cette chambre avec celle de la lanterne, dont le diamètre est

aussi de 4 mètres, et dont le pourtour est revêtu de dalles en marbre.

Les servitudes se composent d'un corps de logis présentant 42 mètres de longueur, sur $7^{m},70$ de largeur, et de deux pavillons en aile.

Les logements des gardiens sont parfaitement isolés les uns des autres. Chacun d'eux se compose d'une cuisine, d'une chambre et d'un cabinet situés au rez-de-chaussée, et de la partie correspondante des greniers. Un escalier spécial pour chaque gardien conduit au grenier dont il a la jouissance; chaque logement possède aussi ses dégagements particuliers, tant sur la cour antérieure que sur la cour de service.

Les appartements réservés se composent d'une chambre et d'un cabinet pour l'ingénieur, d'une chambre et d'un cabinet pour le conducteur.

Le phare est approvisionné d'eau au moyen de deux citernes qui recueillent l'égout des toits, et qui sont situées l'une dans la cour antérieure, l'autre dans la cour de service.

Indépendamment de ces travaux qui constituent l'établissement même du phare, et qui ont fait l'objet d'une entreprise, l'exécution de cet ouvrage en a exigé d'autres assez importants et qui ont été faits en régie : tels sont la construction d'un petit port et l'ouverture d'une route de 3 kilomètres, pour faciliter le déchargement et le transport à pied d'œuvre des matériaux qui arrivaient par mer du continent.

Le phare de Créac'h a été établi sur un plateau de roche granitique préalablement dérasé. Sauf le soubassement,

la corniche et les encadrements des ouvertures, il est entièrement construit en moellons bruts revêtus d'un enduit de ciment de Portland. Jusqu'à la naissance de la corniche, la maçonnerie de la tour a été exécutée avec du mortier de chaux hydraulique de la Rochelle; mais le couronnement de l'édifice a été entièrement maçonné avec du ciment de Portland. Les appareils de pierres de taille de la tour sont en granit de Kersanton; ceux des servitudes, en granit de l'île.

Les maçonneries de la tour ont été exécutées sans aucun échafaudage extérieur, et en faisant tout le service du montage des matériaux par le vide de l'escalier. Ce travail n'a donné lieu à aucun accident.

Commencés en 1860, les travaux ont été terminés en 1863.

Les dépenses se sont élevées à 363,596 fr. 51 cent., y compris l'appareil d'éclairage.

Le projet du phare de Créac'h a été dressé par M. de Carcaradec, ingénieur ordinaire. Les travaux ont été exécutés sous la direction de MM. Maîtrot de Varennes, ingénieur en chef, et Rousseau, ingénieur ordinaire.

Conducteur, M. Delachienne; entrepreneur, M. Tritschler.

XLI

PHARE DU FOUR.

(FINISTÈRE.)

Dessins aux échelles de $0^m,02$ et $0^m,04$.

Le phare du Four est construit à l'extrémité nord du chenal de ce nom, sur la roche la plus avancée en mer, à deux milles à l'ouest du petit port d'Argenton. Cette roche, formée d'un granit très-dur, s'élève à 2 mètres environ au-dessus du niveau des hautes mers, et il devient impossible de l'accoster dès que la mer est tant soit peu agitée. Dans les gros temps, les lames y déferlent avec une telle violence qu'elles s'élèvent au-dessus de la lanterne du phare, et ont brisé des volets de $0^m,06$ d'épaisseur, qui fermaient, pendant la période d'exécution des travaux, les étroites fenêtres de la tour.

Les dépôts et les chantiers de préparation des pierres étaient établis dans le port d'Argenton, d'où partait, quand les circonstances de mer paraissaient favorables, la flottille qui transportait sur la roche les ouvriers et les matériaux de construction. Des échelons, diversement disposés et distribués, permettaient aux ouvriers de gravir les parois abruptes et glissantes, et une grue très-simple, n'offrant presque pas de prise à la mer, servait au débarquement du matériel.

Le phare consiste en une tour d'un diamètre intérieur de $4^m,50$, établie sur un massif de maçonnerie arasé à 2 mètres au-dessus des pleines mers d'équinoxe, et en-

castré dans le rocher dont il enveloppe les parties les plus hautes. Le mur a $2^m,75$ d'épaisseur à la base et $1^m,18$ au sommet. Au-dessus de la corniche de couronnement, dont le larmier est soutenu par seize consoles, s'élève un parapet composé de dalles de $0^m,20$ d'épaisseur assemblées dans des pilastres.

La tour s'élève à $22^m,70$ au-dessus du massif de la base; à cette hauteur, elle est surmontée d'une murette polygonale à dix pans, en tôle, de $2^m,40$ de diamètre, murette qui supporte la lanterne. Le plan focal dépasse ainsi de 28 mètres le niveau des plus hautes mers.

Les maçonneries sont exécutées en moellons de granit posés à bain de mortier de ciment de Portland, avec parement en pierres de grand appareil.

La déclivité très-prononcée de la roche, vers le sud, a commandé les plus grandes précautions dans l'implantement du phare. Le rocher a été profondément entaillé partout, en redans concentriques, inclinés vers le centre de la tour, et de nombreux goujons en fer, de $0^m,07$ de diamètre, y ont rattaché les premières assises de la maçonnerie. Des crampons de même métal relient entre elles toutes les pierres de l'assise du cordon, et une vigoureuse ceinture, également en fer, est encastrée au-dessus des consoles de la corniche. Les pilastres du parapet sont maintenus à leur pied par des dés en bronze.

La tour se compose d'un rez-de-chaussée surmonté de cinq étages. Le rez-de-chaussée et les quatre premiers étages sont mis en communication par un escalier en pierre, commençant au bout du couloir qui suit la porte d'entrée. Droit d'abord, puis circulaire à noyau plein.

cet escalier compte quatre-vingt-quatorze marches et sa cage est formée partie aux dépens de l'épaisseur du mur, partie aux dépens du vide cylindrique de la tour; un mur de faible épaisseur l'isole des chambres. Du quatrième étage, auquel il s'arrête, on accède à l'étage supérieur, et de là dans la lanterne, au moyen d'escaliers suspendus exécutés en fer et en fonte, et disposés de manière à occuper peu de place.

Le rez-de-chaussée est divisé en trois compartiments : le vestibule et deux caveaux dallés, éclairés chacun par une lucarne de $0^m,50$ sur $0^m,25$. Le caveau de gauche renferme une soute à charbon, de 5,000 kilogrammes de contenance, se chargeant par l'escalier, et une pompe aspirante et foulante, pour l'alimentation d'eau. Celui de droite est le dépôt des huiles. Au premier étage est le magasin. Il peut recevoir, dans vingt-deux caisses en tôle, un approvisionnement de 5,000 litres d'eau douce; on y trouve aussi deux soutes à charbon, d'une contenance totale de 2,000 kilogrammes, placées de chaque côté de la porte, dans les angles formés par la saillie de la cage d'escalier sur le cylindre intérieur de la tour. La chambre du deuxième étage est la cuisine; le fourneau y est placé dans une niche surmontée d'une coulisse de $0^m,30$ de largeur, sur $0^m,45$ de profondeur, ménagée dans le mur du phare et se prolongeant jusqu'à la plate-forme supérieure. Dans cette coulisse, se loge le tuyau en cuivre du fourneau. Les pans coupés, que présente la saillie de l'escalier, servent à établir deux placards. Le troisième étage forme la chambre à coucher, contenant deux lits et deux placards analogues à ceux de la cuisine. Au quatrième

étage est la chambre de la trompette à vapeur, que surmonte la chambre de service formant le cinquième étage. Le rez-de-chaussée et les deux premiers étages sont voûtés ainsi que le cinquième; la voûte du rez-de-chaussée est cylindrique; celles des autres étages sont sphériques. Toutes sont en briques de Bristol, sauf la voûte du cinquième, qui, traversée par la pénétration de l'escalier de service, est tout entière en granit. Au troisième et au quatrième étage, dans le but de gagner de l'espace, on a substitué aux voûtes une charpente formée de sept poutres en tôle entretoisées, et servant de sommiers à de petites voûtes en briques.

La porte d'entrée du phare et les fenêtres extérieures sont exécutées en chêne enduit d'huile de lin cuite. Les fenêtres intérieures, les parquets, les bâtis des lambris, des portes des chambres ou des armoires, les plinthes, les cimaises sont en chêne ciré. Les panneaux sont en sapin également ciré. Les châssis des lucarnes des caveaux et des deux premières fenêtres extérieures de l'escalier sont garnis de verres à hublots, comme ceux qu'on emploie à bord des navires.

Tous les ouvrages de serrurerie sont confectionnés en bronze, la plupart sur modèles spéciaux.

Les trompettes, auxquelles on a recours pour suppléer les phares dans les temps de brume, sont habituellement mises en action par de l'air qui a été comprimé dans un grand réservoir au moyen d'une machine à vapeur. Ici, où la place faisait défaut, on a adopté une nouvelle disposition imaginée par M. le professeur Lissajoux. L'appareil, qui est nettement représenté sur les dessins, se compose

ainsi qu'il suit : 1° deux chaudières à vapeur verticales accouplées (système Field), d'une force totale de quatre chevaux; 2° une trompette avec appareil d'entraînement d'air par jet de vapeur; 3° un mécanisme de distribution mû par la vapeur, destiné à ouvrir et à fermer périodiquement la communication des chaudières avec la trompette, de façon que le son se produise à raison d'un coup par cinq secondes; 4° une horloge commandant le distributeur de vapeur de ce mécanisme.

La trompette se fait entendre au dehors, à travers un pavillon métallique logé dans une ouverture circulaire pratiquée à l'ouest-sud-ouest dans le mur de la tour. La fumée du combustible se dégage par un tuyau en cuivre qui va se greffer sur le tuyau du fourneau de la cuisine, dans la coulisse ménagée à cet effet. Les chaudières ont la pression nécessaire à la mise en marche, vingt minutes, au plus, après l'allumage des feux.

Les chaudières sont alimentées à l'eau douce; leur consommation, avec le rhythme adopté pour la trompette, est d'environ 25 litres par heure. L'eau est approvisionnée au moyen de la pompe aspirante et foulante placée dans le caveau ouest du phare, laquelle, puisant l'eau douce dans les bateaux accostés à la roche, la refoule dans les vingt-deux caisses en tôle placées au premier étage, dont la capacité est de 1,250 litres pour l'eau destinée aux gardiens, et de 3,750 litres pour l'eau destinée aux chaudières, qui peuvent ainsi être alimentées pendant cent cinquante heures de travail au moins, sans que l'approvisionnement soit renouvelé.

L'eau des caisses est montée à la bâche d'alimentation

dans la chambre de la trompette, au moyen d'un appareil injecteur que l'on met en marche par l'ouverture d'un robinet de prise de vapeur placé sur les chaudières.

Les phares sont très-multipliés sur la côte ouest du Finistère, à raison des difficultés et de l'importance de la navigation dans ces parages, et il était essentiel de donner à celui du Four un caractère qui ne permît de le confondre avec aucun autre.

L'appareil lenticulaire de troisième ordre, qui fait partie de l'exposition du Ministère des travaux publics, a été imaginé dans ce but. A un feu fixe durant pendant une demi-minute, il fait succéder pendant le même laps de temps un feu à éclipses, dont les intervalles sont fixés à 3 secondes $\frac{3}{4}$. Il est illuminé par des lampes à trois mèches concentriques, alimentées à l'huile minérale.

Les travaux du phare du Four ont été entrepris en 1869, et le feu a été allumé pour la première fois le 15 mars 1874.

Les dépenses totales de la construction, y compris l'appareil optique et la trompette à vapeur, se sont élevées à 308,888^{f},21^{c} et il ressort des faits acquis que le mètre cube de maçonnerie n'est pas revenu à plus de 150 francs.

L'édifice a été projeté et exécuté par MM. Planchat, ingénieur en chef des ponts et chaussées, et Fénoux, ingénieur ordinaire, et les chantiers ont été dirigés par M. le conducteur Bouillon.

L'appareil d'éclairage a été exécuté par MM. Henry-Lepaute.

La trompette à vapeur est due à MM. Lissajoux et Flaud.

XLII

PHARE DE LA BANCHE.

Deux modèles à l'échelle de $0^{m},04$ (un vingt-cinquième).

Le phare de la Banche, commencé en 1861 et allumé le 15 août 1865, est situé à l'ouest-sud-ouest de l'embouchure de la Loire, à 9,500 mètres de la terre la plus voisine, à 13 kilomètres du Pouliguen et à 24 kilomètres de Saint-Nazaire, les seuls ports où l'on pût préparer et embarquer les matériaux.

Il est établi sur le banc du Turc qui n'émerge que de quelques décimètres dans les plus basses mers, et fait partie du grand plateau de la Banche, lequel court du nord-ouest au sud-est sur une longueur de 7 kilomètres avec des largeurs variables de 1,500 à 2,500 mètres, en séparant le chenal du nord de celui du sud. Ce plateau, sur lequel il ne reste que de 1 à 5 mètres d'eau de basse mer, est parsemé de roches en saillie et constitue le plus sérieux danger de l'entrée de la Loire. Il est formé de roches calcaires des terrains tertiaires, comme tous ceux de la seconde ligne d'écueils de cette portion des côtes de France. Les courants ne sont pas très-forts dans le voisinage du plateau, mais les grandes lames de l'Atlantique qui viennent aborder cette sorte de barrage sans avoir jusque-là rencontré aucun obstacle, acquièrent une telle violence que, durant l'hiver qui a suivi l'achèvement des maçonneries, les paquets de mer ont non-seulement franchi la hauteur de la tour et la corniche très-saillante qui

la couronne, mais sont venus disloquer la charpente, cependant très-solide, de la toiture conique provisoirement établie au-dessus de la construction.

A la grande distance où se trouvait le phare des ports d'embarquement des ouvriers et des matériaux, on ne pouvait songer à rentrer après chaque marée. Il fallait, sous peine de perdre un temps précieux et de se laisser entraîner par suite dans des dépenses considérables, faire mouiller dans le voisinage, autant du moins que l'état de la mer le permettait, la petite flottille d'embarcations employée à la construction. Cette flottille se composait de deux gabares de 40 et 50 tonneaux de jauge, d'un petit sloop à vapeur de 10 chevaux et de trois grands canots dont un de sauvetage. La nécessité de pouvoir sortir à toute marée du port du Pouliguen, ou d'y trouver au besoin un refuge, ne permettait pas d'employer d'embarcations d'un plus fort tonnage.

Le banc du Turc, à moins d'un calme tout à fait exceptionnel, ne peut être abordé qu'en un seul point, dans le nord. C'était en conséquence dans le voisinage de ce point qu'on avait primitivement choisi l'emplacement du phare; mais lorsqu'on a voulu préparer l'encastrement des fondations, on a reconnu que ce qui semblait du rocher en place n'était qu'un amas d'une grande épaisseur de moellons calcaires d'assez fortes dimensions arrachés par la mer au plateau de la Banche, et agglutinés par un sable plus ou moins vaseux. Il fallait à tout prix cependant s'établir sur le noyau solide du banc, et ce n'est que tout à fait dans le sud, à 95 mètres du point de débarquement, sous l'action directe de la mer du large, qu'on a pu le rencontrer à des

hauteurs variant de $0^m,90$ à $0^m,20$ seulement en contre-haut des plus basses mers de vives eaux.

La surface de ce rocher était résistante, sans beaucoup de fissures, et paraissait au moins assurer de bonnes fondations; mais quand on l'a attaqué pour encastrer les premières assises, on a constaté qu'en bien des points cette résistance diminuait rapidement, que le rocher devenait de plus en plus tendre, et se transformait même parfois en une sorte d'amas de matières calcaires non agrégées, d'une consistance analogue à celle d'un sable vaseux. Sous ces amas, à des profondeurs variant de $0^m,60$ à $2^m,10$, on retrouvait heureusement le rocher solide, et quand il a été démontré par de nombreux sondages qu'ils ne constituaient pas une couche générale, qu'ils ne remplissaient que des poches plus ou moins importantes, on s'est résigné à les rechercher avec le plus grand soin, à les vider autant que pouvaient le permettre les batardeaux qu'il fallait établir à la hâte à chaque marée, le plus souvent avec le goëmon qu'on avait sous la main, puis à les bloquer à bain de mortier de ciment de Portland jusqu'à des profondeurs qui ont atteint 2 mètres en contre-bas des plus basses mers.

Pendant qu'on exécutait ces laborieuses fondations, on avait à se préoccuper de l'approche des matériaux nécessaires à la construction de la tour. On ne pouvait songer à engager les embarcations au sud du banc pour leur faire accoster l'ouvrage, et on a dû prendre le parti d'établir, en travers même de ce banc, une digue d'un peu plus de 100 mètres de longueur, dont le couronnement, porté à $0^m,50$ en contre-haut du niveau moyen de la mer, était

assez large pour recevoir une voie de fer destinée à conduire au pied du phare les matériaux débarqués sur le musoir nord que devaient accoster les embarcations et où une grue serait installée. Cette digue, tracée nord et sud, tangentiellement à un cercle de 10 mètres de rayon concentrique à la tour, suivait à son extrémité sud ce cercle sur environ 120 degrés, en abritant aux débuts les maçonneries contre la lame du sud-ouest et les premiers efforts de la marée montante. Exécutée assez rapidement avec les moellons mêmes du banc et des ciments à prise rapide, elle a été terminée en même temps que les fondations qui, commencées le 14 mai 1862, après deux mois de recherches et de sondages, étaient à la fin de la campagne élevées de 1 mètre au-dessus des plus basses mers. Ce résultat, qu'on n'avait obtenu qu'en restant au mouillage tant que la mer permettait de tenir, pour ne pas perdre une seule des heures si peu nombreuses dont on pouvait disposer dans les conditions où on se trouvait placé, assurait l'achèvement relativement rapide de l'ouvrage.

Le phare était projeté d'après le type des phares de troisième ordre en mer, et devait consister en une tour en maçonnerie dont le soubassement à courbure elliptique eût reposé sur un massif de fondation de $1^{m},60$ d'épaisseur. Mais, en présence de la mauvaise nature du rocher, il a paru prudent de réduire la hauteur de la tour et d'augmenter de 1 mètre l'épaisseur du massif de fondation en le maçonnant avec mortier de ciment de Portland à parties égales de ciment et de sable. En agissant ainsi, on a eu pour but non pas de diminuer le poids de la tour, puisque le cube des maçonneries est resté sensiblement le même

(1,224^{m},83 au lieu de 1,228^{m},67), et que d'ailleurs la pression exercée par centimètre carré était déjà faible (1^{kg},68), mais bien de réduire la longueur du bras de levier de la puissance qui tend au renversement dans les coups de mer, et d'établir cette tour sur un véritable monolithe suffisamment solide pour ne pas se rompre en présence d'inégalités de résistance du sol de fondation. La hauteur totale de l'ouvrage est de 26^{m},525, et le plan focal de l'appareil se trouve établi à 21^{m},225 au-dessus des plus hautes mers, ce qui suffit pour la portée assignée au feu.

La tour qui renferme une cave, un vestibule, une cuisine, deux chambres de gardiens et la chambre de service, est, à part de légères modifications de détails dont les modèles seuls permettent de bien se rendre compte, couronnée et aménagée comme toutes celles des phares de troisième ordre en mer.

Le seuil de la porte d'entrée du vestibule n'est qu'à 2 mètres au-dessus des plus hautes mers, mais comme cette porte est placée au nord, à l'abri des lames du large, elle n'est que très-rarement atteinte par la mer et jamais de manière à inspirer des inquiétudes. Il a seulement fallu se réserver la possibilité de protéger la fenêtre qui lui fait face, et l'on a eu recours à cet effet à un volet logé dans une feuillure et formé d'une épaisse planche de cuivre montée sur un cadre en bronze, qui épouse la double courbure du parement du soubassement.

Tous les escaliers sont en fonte avec limons en tôle. On a substitué aux voûtes en pierres de taille, ou en briques, qui séparent d'ordinaire les étages, des planchers formés de poutres en tôle et cornières dont les vides sont remplis

de maçonnerie de briques. On a cherché non-seulement à obtenir ainsi un volume d'air plus considérable dans les chambres, mais encore à contribuer à la consolidation de la partie creuse de la tour, maintenue d'ailleurs par trois ceintures en fer de $0^m,050$ d'épaisseur sur $0^m,070$ de hauteur noyées dans la maçonnerie à différents niveaux.

L'appareil catadioptrique donne un feu fixe rouge.

Le couronnement du massif des fondations a été exécuté en granit très-dur de la carrière de Lavau, qui approvisionne les travaux du port de Saint-Nazaire; la corniche, le couronnement du phare et le soubassement de la lanterne, ont été établis en très-beau granit de la carrière de la Conterie, près de Nantes. Dans le surplus de l'édifice, le granit de la côte a été exclusivement employé, tant en parement extérieur qu'en parement intérieur, sous formes de moellons taillés de $0^m,225$ de hauteur d'assise, $0^m,50$ de longueur de queue moyenne (sans descendre au-dessous de $0^m,40$) et de $0^m,40$ à $0^m,55$ de longueur, sauf pour les encadrements des ouvertures où il a reçu de plus fortes dimensions.

Les travaux, fourniture, transport et emploi des matériaux, ont été exécutés entièrement en régie.

Les dépenses se sont élevées à 374,280 fr. 85 cent., y compris l'appareil d'éclairage.

Le phare de la Banche a été projeté et exécuté sous la direction de M. Chatoney, alors ingénieur en chef des ponts et chaussées, par M. Lefebme, ingénieur des ponts et chaussées.

Les travaux ont été conduits par MM. Salley, conducteur, et Butat, agent secondaire.

XLIII

PHARE DES BARGES.

Trois modèles à l'échelle de $0^m,04$ (un vingt-cinquième).

Le phare des Barges est un phare de troisième ordre, à feu blanc, varié de trois en trois minutes par des éclats rouges. Il est situé à l'ouest des Sables-d'Olonne, à 2,100 mètres de la côte, sur le plateau de la grande Barge d'Olonne, qui a 600 mètres environ de longueur sur 300 mètres de largeur, et qui est entièrement sous-marin, à l'exception de quelques aiguilles émergeant çà et là par groupes isolés.

Portée lumineuse	14 milles.
Hauteur du foyer au-dessus des hautes mers.	$23^m,00$
Hauteur du foyer au-dessus du sol	27 ,50

La tour cylindrique a $24^m,81$ de hauteur au-dessus du rocher, non compris la tourelle de 2 mètres; elle est pleine et à parements elliptiques jusqu'à 4 mètres au-dessus des plus hautes mers, ou $8^m,50$ au-dessus du rocher, niveau auquel elle devient creuse. Le soubassement plein a 12 mètres de diamètre à sa base et $6^m,50$ à sa partie supérieure. La partie creuse a $16^m,31$ de hauteur et $3^m,50$ de diamètre intérieur; l'épaisseur des murs est de $1^m,50$ à la base et de $0^m,77$ au sommet, ce qui constitue un fruit de $0^m,045$ par mètre.

Les courants de marée ne sont pas très-forts aux Barges, mais la mer est d'une violence telle que les paquets s'élèvent

parfois à plus de 30 mètres de hauteur contre la tour et retombent sur la coupole. C'est ce qui a motivé le large empatement de la base, et son exécution en maçonnerie pleine avec parements en pierres de taille de granit reliées entre elles par tenons et mortaises.

La porte d'entrée, à laquelle on accède par une échelle encastrée dans la maçonnerie, est placée à 4 mètres au-dessus des plus hautes mers; à ce niveau commence la tour creuse, dont les murs sont entièrement en pierres de taille de granit; elle est divisée, par des voûtes en briques, en cinq étages reliés par des escaliers, en pierre pour l'étage inférieur, en fonte pour les autres. Une double ceinture en bronze consolide la tour au droit de la voûte supérieure.

Une cave contenant des caisses à eau, une soute à charbon et un dépôt d'objets divers a été ménagée dans le soubassement.

Les fondations ont présenté de très-grandes difficultés. On n'a pas pu placer l'édifice sur le point le plus élevé et le plus abordable, parce qu'il n'offrait que des roches accolées et crevassées. On a dû s'établir sur une partie des plus exposées aux coups de mer du large et dont le niveau moyen ne dépassait que de $0^m,50$ le niveau des basses mers ordinaires de vive eau, et se trouvait à $0^m,80$ au-dessous des basses mers de morte eau. Les inégalités de la surface et les filons inclinés qu'elle présentait ont conduit à encastrer la première assise du parement de $0^m,25$ à $0^m,30$ dans le rocher afin de prévenir tout glissement. Le dérasement a exigé deux campagnes entières, celles de 1857 et de 1858; il est vrai que cette roche est un granit

d'une extrême dureté, qu'on ne pouvait pas employer plus de douze tailleurs de pierre à la fois, et que le nombre d'heures de travail utile n'a été que de trente-huit en 1857 et de quarante-cinq en 1858.

Dès le commencement des travaux, on reconnut la nécessité de se couvrir contre les lames, et on construisit, à cet effet, deux jetées dont l'une a 75 mètres de longueur et 3 mètres de largeur au sommet arasé au niveau des hautes mers de morte eau.

Les pierres des quatre premières assises furent débarquées et posées au moyen de petits apparaux provisoires, consistant en une grue de débarquement scellée dans un massif accolé au phare, et une grue de pose, mobile sur un chemin circulaire assis sur la maçonnerie centrale.

Au mois de juillet 1859, on installa un appareil plus puissant, composé d'une grande hune de sauvetage et d'une bigue de levage, qui servirent à élever les maçonneries du soubassement jusqu'au niveau des hautes mers de morte eau; mais le tout fut enlevé au mois d'octobre suivant par une tempête d'une violence inouïe.

En 1860, il fallut recourir à de nouveaux apparaux, préparés pendant l'hiver, et comprenant une grue de débarquement, une grue de pose, enfin, une grue élévatoire et de pose pour la construction de la tour creuse; ces divers agrès sont représentés par le modèle.

Toutes les maçonneries, sauf une partie de celle du massif intérieur du soubassement plein, ont été exécutées en mortier de ciment de Portland, à la dose de 1 de sable et de 1 de ciment pour les maçonneries de pierres de taille, de 2 de sable et de 1 de ciment pour celles de moellons et

de briques. La maçonnerie de blocage de la partie du soubassement inférieur au niveau des plus hautes mers a dû être exécutée en mortier de ciment de l'île de Ré, à prise rapide, dans la proportion de 1 de sable pour 1 de ciment.

Les travaux, commencés en 1857, ont été terminés en 1861. Dans ces cinq campagnes, on a pu débarquer 346 fois, travailler en tout, au phare pendant 1,960 heures, aux jetées pendant 308 heures.

Les dépenses totales se sont élevées à 450,000 francs, dont environ 80,000 francs pour les travaux accessoires.

Le phare des Barges a été projeté par MM. Petot, ingénieur en chef, et Lancelin, ingénieur ordinaire. La construction a eu lieu sous la direction de M. Forestier, ingénieur en chef, de M. Legros, ingénieur ordinaire, de 1857 à 1858, et de M. Marin, ingénieur ordinaire, de 1858 à 1861.

XLIV

PHARE DE LA PALMYRE.

Dessins aux échelles de $0^m,02$, $0^m,04$ et $0^m,20$.

Tour et dépendances. — Le phare de la Palmyre est situé au milieu des dunes de la rive droite de la Gironde, à 5 milles en dedans de la pointe de la Coubre. Il est destiné à éclairer, concurremment avec le phare établi sur cette pointe, le premier alignement de l'entrée de la passe nord de l'embouchure du fleuve, et à faire éviter le banc de la Mauvaise, dont la marche lente et progressive vers le nord-nord-est a conduit à changer l'alignement, devenu dangereux, qui balisait autrefois cette passe.

On n'a pas jugé qu'il convînt d'élever en cet endroit une construction en maçonnerie, tant à raison des difficultés que devait présenter le transport des matériaux, qu'en prévision de déplacements ultérieurs de la passe pouvant exiger la translation du phare. Cette dernière considération avait déjà engagé à exécuter en charpente un grand phare des mêmes parages : celui de Pontaillac. On s'est décidé en faveur d'une tour métallique disposée suivant un nouveau système imaginé par M. Lecointre, ingénieur de la marine et de la Compagnie des forges et chantiers de la Méditerranée.

Le fût de la tour se compose essentiellement de neuf tubes cylindriques de $2^m,80$ de hauteur chacun, ajustés

les uns sur les autres et formant ensemble une cage d'escalier de 2 mètres de diamètre intérieur. Ces tubes, du poids de deux tonnes, sont composés de six feuilles de tôle de $0^m,01$ d'épaisseur, reliées par des couvre-joints verticaux extérieurs au moyen de rivures, et bordées à leurs extrémités supérieure et inférieure par deux cornières de $\frac{120 \times 120}{10}$ rivetées sur ces feuilles. Des boulons permettent de réunir chaque tube à celui qui le précède et à celui qui le suit.

Dans chaque élément du fût, l'escalier est éclairé par une petite fenêtre ménagée dans la tôle, et se compose de seize marches en tôle striée de $0^m,80$ de longueur moyenne fixée sur deux cours de cornières posés, l'un sur la surface intérieure du tube, l'autre sur un noyau cylindrique creux de $0^m,40$ de diamètre extérieur.

L'ensemble des neuf tubes forme une colonne de $25^m,20$ de hauteur, qui est rendue solidaire avec un massif de fondation en béton de 3 mètres d'épaisseur, coulé dans le sable au sommet de la dune sur laquelle repose le phare. La liaison du tube à ce massif s'opère à la fois au sommet et à la base. A cet effet, des boucliers en fonte à nervures, encastrés dans les couches inférieures du bloc de béton, servent de points d'attache à des boulons qui traversent toute l'épaisseur de ce massif, et dont les têtes s'engagent dans les patins fixés, d'une part, à la base du premier tube inférieur par un rivetage, et assujettis, d'autre part, par un double système d'écrous, à ces boulons. Ce mode d'assemblage, employé pour relier la base de la tour à sa fondation, est également utilisé pour rat-

tacher l'ensemble des deux tubes supérieurs de la colonne au même massif. A cet effet, trois jambes de force, tubulaires, exécutées en tôle, sont rivetées au moyen de cornières elliptiques, aux huitième et neuvième tubes, et sont fixées à leur pied à des boucliers, comme ceux qui maintiennent la colonne.

Le massif de béton affecte en plan la forme d'un Y équilatéral, dont chaque branche a 4 mètres de largeur et se termine par un demi-cercle, dont le centre est à 5 mètres de l'axe de la tour. La colonne centrale, maintenue par six boulons de $0^m,07$ de diamètre et de $3^m,67$ de longueur, repose sur un socle monolithe vertical de $0^m,40$ de hauteur. L'axe de chacune des trois jambes de force rencontre la surface du massif de béton au centre de la circonférence qui termine chaque branche de l'Y. Ces arcs-boutants sont fixés à leur base par quatre patins, au moyen d'un même nombre de boulons de $0^m,07$ de diamètre et de $3^m,67$ de longueur, engagés, comme ceux du centre, dans des boucliers en fonte. Ces quatre patins reposent sur un socle cylindrique, qui fait corps avec le massif de béton, et dont la surface est normale à la direction de l'arc-boutant. Les boulons de fondation sont respectivement parallèles aux jambes de force qu'ils sont appelés à fixer. Les éléments cylindriques des arcs-boutants et du noyau de l'escalier s'emboîtent les uns dans les autres, de façon que l'extrémité supérieure de chaque élément soit recouverte, sur $0^m,10$ environ de longueur, par la partie inférieure de l'élément qui la surmonte; ces assemblages sont maintenus par des rivures.

La colonne occupée par l'escalier est surmontée d'une

construction cylindrique de $4^m,20$ de diamètre intérieur, divisée en trois parties : la chambre de service, la chambre de l'appareil et la toiture. Une galerie extérieure de $0^m,90$ de large, à laquelle on accède par la chambre de service, permet de circuler autour de l'édifice; elle est supportée par des consoles et accompagnée d'un garde-corps en tôle non évidée.

Cette partie supérieure est formée de douze feuilles de tôle assemblées à l'intérieur par des cornières verticales. Chacun de ces segments cylindriques est recouvert au dedans par un panneau en bois de teck, de $0^m,04$ d'épaisseur. La chambre de service a 3 mètres de hauteur : elle contient le tambour d'arrivée de l'escalier de la tour, un réduit servant de chambre de repos pour les gardiens, et un petit magasin pour le matériel; une échelle en fer forgé la met en communication avec la chambre de l'appareil. Une petite galerie extérieure est située au-dessous de cette dernière chambre : elle a pour but de permettre le nettoyage journalier de la glace qui donne passage aux rayons lumineux. Une cheminée verticale en tôle, de $0^m,80$ de diamètre, permet de se rendre de la chambre de l'appareil au sommet de la toiture, sur laquelle il est possible, en traversant un trou d'homme, d'exécuter les réparations qui peuvent devenir nécessaires. On a de même ménagé, au moyen de crochets fixés sur la toiture et d'ouvertures réservées dans le plancher de la plate-forme inférieure de la lanterne, la possibilité d'établir un échafaudage extérieur mobile pour renouveler, sur toutes les surfaces de la tour, les peintures destinées à protéger le métal contre l'oxydation.

La maison des gardiens et les servitudes dépendant de l'établissement sont établies sur les pentes abruptes de la dune, à peu de distance du phare : ces constructions sont exécutées en briques.

Le phare a été allumé, pour la première fois, le 1er septembre 1870.

Les dépenses se sont élevées à la somme de 134,268 fr. 55 cent. et se décomposent comme suit :

Chemin d'accès	27,752f 38c
Fondations, maison des gardiens et servitudes	29,935 37
Tour en métal	76,580 80
Total pareil	134,268f 55c

Appareil d'éclairage. — Le phare de la Palmyre concentre ses rayons lumineux dans un espace angulaire de 45°, et se montre alternativement rouge et vert pendant des intervalles de vingt secondes, sans éclipses interposées.

L'appareil se compose d'une lentille dioptrique et catadioptrique de feu fixe, embrassant un angle de 150°, d'un réflecteur catadioptrique placé dans l'angle opposé au précédent, et de deux groupes de prismes verticaux disposés en avant de l'appareil de feu fixe, dans l'espace situé de chaque côté de l'axe, en dehors de l'angle qu'il s'agit d'éclairer. Ces éléments ont été calculés de manière à concentrer la lumière émanée du feu fixe, et à la répartir aussi uniformément que possible dans l'angle utile de 45°.

Entre l'appareil de feu fixe et les lentilles verticales, se trouve un écran circulaire formé de trois lames de verre embrassant chacune 75°; les deux lames extrêmes sont

rouges, celle du milieu est verte. L'armature qui porte cet écran reçoit un mouvement d'oscillation intermittent, par suite duquel le feu passe rapidement d'une couleur à l'autre, et conserve pendant un temps déterminé une couleur constante.

L'appareil est posé sur un socle en tôle et fonte, à l'intérieur duquel une machine, actionnée par un poids, donne un mouvement de rotation uniforme à un arbre vertical. L'uniformité de ce mouvement est assurée par un régulateur Foucault. Sur l'arbre est fixé un plateau horizontal portant une rainure, laquelle est formée de deux arcs de cercle de rayons différents, concentriques à l'arbre vertical, opposés l'un à l'autre et raccordés entre eux par des lignes sinueuses. Un petit galet, attaché au support oscillant des écrans, pénètre dans cette rainure et y reste immobile tant qu'il se trouve dans l'une des deux parties circulaires; mais quand le mouvement de rotation de l'arbre amène le galet en contact avec l'une des lignes de raccordement, il est obligé de se mettre en marche jusqu'à ce qu'il arrive à l'autre arc de cercle, le long duquel il reste de nouveau immobile.

Il en résulte que l'écran décrit un angle de 75° en quatre secondes, qu'il reste en repos pendant seize secondes, et qu'il exécute ensuite un mouvement d'oscillation opposé, pour rester de nouveau immobile. Ce mouvement amène successivement devant chaque partie de l'appareil, tantôt l'écran vert, tantôt l'un des deux écrans rouges, de manière à produire le caractère assigné au feu.

Le phare est illuminé par une lampe à huile minérale, avec bec à trois mèches.

Ingénieurs : MM. Lecointre, ingénieur en chef de la Compagnie des forges et chantiers de la Méditerranée, Marchegay, ingénieur en chef des ponts et chaussées, et Lasne, ingénieur ordinaire.

L'appareil lenticulaire a été composé et calculé par M. Allard, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

L'appareil et la machine de rotation ont été exécutés par MM. L. Sautter, Lemonnier et Cie, constructeurs de phares, à Paris.

XLV

PHARE DE SAINT-PIERRE DE ROYAN.

Dessins à l'échelle de $0^{m},04$.

L'embouchure de la Gironde présente deux passes distinctes orientées dans des directions à peu près perpendiculaires; l'une, la passe du nord, la plus profonde et la plus fréquentée; l'autre, la passe du sud, qui, quoique moins praticable pour la grande navigation, présente cependant de grands avantages, même pour les navires d'un fort tonnage, quand on l'aborde par des vents de sud et vers l'étale de pleine mer.

Les deux phares de Saint-Pierre de Royan et du Chay, construits à 2 kilomètres de distance l'un de l'autre, sont destinés à éclairer cette dernière passe, et à remplacer avantageusement, sur la rive droite du fleuve, deux des anciennes balises qui ne pouvaient servir que pendant le jour. Pour n'apporter aucune confusion dans l'éclairage de cette embouchure, déjà pourvue d'un grand nombre de feux, les deux phares indiqués n'envoient leur lumière que dans un espace angulaire très-restreint; les appareils, installés dans les chambres supérieures des édifices, devant les fenêtres ouvertes dans la direction de cette passe, consistent en réflecteurs sphériques qui reportent les rayons lumineux du foyer sur des lentilles à échelons, dont les axes optiques parallèles sont situés dans le plan vertical de l'alignement à suivre. Il n'y a qu'un appareil

d'éclairage dans le phare du Chay; il y en a deux dans celui de Saint-Pierre, à raison de son plus grand éloignement de la mer. Tous ces feux sont fixes et rouges.

Les édifices consistent en des tours en maçonnerie, de forme rectangulaire, qui offrent une même distribution intérieure; le plus important est celui de Saint-Pierre.

Le plan de cette construction affecte la forme d'un carré parfait, dont la dimension intérieure est de 5 mètres dans toute la hauteur de la tour; un petit mur de refend de $0^{m},20$ servant d'échiffre, parallèle au mur de face, sépare la cage de l'escalier, dont la largeur est de 2 mètres, de la chambre réservée à chaque étage sur la façade. Ces chambres, au nombre de huit, y compris celle du rez-de-chaussée, ont par suite $2^{m},80$ de largeur sur 5 mètres de longueur.

Le rez-de-chaussée sert en même temps de vestibule et de salon de réception; le magasin des huiles est au premier étage; les 2e, 3e, 4e et 5e étages sont réservés au logement du gardien et de sa famille; la chambre de service et celle de l'appareil se trouvent au sommet de la construction.

Cet édifice est appelé à servir d'amer pendant le jour: et afin de le rendre plus visible et de prévenir en même temps toute confusion avec les clochers de la ville de Royan, on l'a élargi à sa partie supérieure au moyen de murs en aile établis en encorbellement sur $1^{m},50$ de chaque côté. On l'a couvert en outre de larges bandes horizontales, alternativement rouges et blanches. L'espèce de voyant qui couronne la tour, devant se détacher sur le ciel, est peint en rouge sur la totalité de sa hauteur.

Ce phare est allumé depuis le 15 juin 1873.

Le projet a été rédigé, d'après les dessins de M. l'inspecteur général Reynaud, par M. Lasne, ingénieur ordinaire, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Marchegay.

Les travaux ont été conduits par M. Sauvion, conducteur des ponts et chaussées.

XLVI

PHARE D'AR-MEN.

Dessins aux échelles de $0^m,015$ et $0^m,04$.

L'île de Sein, située à l'extrémité occidentale du département du Finistère, se prolonge dans la direction de l'ouest par une suite de récifs qui s'abaissent à mesure qu'ils s'éloignent, et s'étendent à près de 8 milles de distance de l'île. Les uns élèvent leurs cimes au-dessus des plus hautes mers, d'autres couvrent et découvrent alternativement; la plupart sont toujours submergés. Ils constituent une sorte de barrage dont la direction est à peu près normale à celle des courants de marée, et la mer y brise presque constamment avec une violence extrême. Cette singulière formation géologique, connue sous le nom de chaussée de Sein, est tristement célèbre parmi les navigateurs, et avait préoccupé la Commission qui fut chargée, en 1825, d'élaborer le programme de notre éclairage maritime.

La solution adoptée à cette époque, et il était impossible alors de proposer mieux, consista à élever deux phares de premier ordre : l'un sur la pointe du Raz, l'autre dans l'île de Sein, pour jalonner la direction de la chaussée. Les navigateurs sont en dehors des dangers et savent de quel côté, quand ils voient les feux à l'ouvert l'un de l'autre, et ils sont prévenus, dès que ces points

lumineux sont près de se montrer sur la même verticale, qu'ils doivent se tenir à grande distance au large pour éviter de tomber sur les écueils. Mais cette distance, rien ne leur permet de l'apprécier; et d'ailleurs il n'est pas besoin d'une brume bien épaisse pour que les phares ne portent pas jusqu'à la limite des dangers et perdent par conséquent toute efficacité. La chaussée de Sein n'a donc pas cessé d'être le théâtre de douloureux sinistres; le système d'éclairage dont elle a été dotée n'a eu pour effet que d'en réduire le nombre, et notre navigation, qui trouve aujourd'hui tant de sécurité sur les autres points du littoral, s'est plainte à plusieurs reprises de cet état de choses.

En avril 1860, la Commission des phares demanda que la question fût examinée, de savoir s'il ne serait pas possible de construire un phare de premier ordre sur l'une des têtes de roches émergentes les plus rapprochées de l'extrémité de la chaussée. Son avis fut approuvé le 3 juin suivant, et les premières études à faire sur place furent confiées à une commission composée d'ingénieurs et d'officiers de marine. En juillet de la même année, cette commission avait fait un examen sérieux des circonstances locales; elle avait reconnu que trois têtes de roches émergent dans les grandes marées près de l'extrémité, lesquelles portent les noms de Madiou, de Schomeur et d'Ar-Men; que les deux premières découvrent à peine, et que la troisième s'élève à environ $1^{m},50$ au-dessus des plus basses mers. Mais les dimensions d'Ar-Men, que l'état de la mer n'avait pas permis d'accoster, lui ayant paru insuffisantes pour l'assiette d'un grand phare, en

même temps qu'il semblait impossible de descendre sur cet écueil, si favorable que pût se montrer l'état de la mer, elle concluait en proposant de s'établir sur la roche Neurlach, à 5 milles en dedans des écueils les plus éloignés. Cette solution fut repoussée par la Commission des phares comme n'étant pas de nature à améliorer l'état actuel des choses autant que l'exigeaient les intérêts de la navigation, et l'Administration de la marine fut priée d'ordonner une reconnaissance hydrographique approfondie de l'extrémité de la chaussée.

Diverses circonstances retardèrent l'exécution de ce travail. En 1866, M. l'ingénieur hydrographe Ploix fut envoyé sur les lieux, et s'il ne put recueillir tous les renseignements désirables, il permit cependant à la Commission des phares d'arrêter un programme. M. Ploix concluait à une construction sur Ar-Men. « C'est une œuvre excessi- « vement difficile, presque impossible, disait-il; mais peut- « être faut-il tenter l'impossible, eu égard à l'importance « capitale de l'éclairage de la chaussée. »

Les courants qui passent sur la chaussée de Sein sont en effet des plus violents; ils s'élèvent au delà de huit nœuds dans les grandes marées, donnent naissance, même par les temps les plus calmes, à un fort clapotis, et rendent la mer très-grosse dès que la brise pousse dans une direction opposée à la leur. Aucune terre n'abrite la roche contre les vents compris entre le nord et l'est-sud-est en passant par le sud, et elle n'est accostable que par de très-faibles brises contenues entre le nord et l'est.

Mouiller un feu flottant à l'extrémité de la chaussée avait été reconnu impossible, tant à cause de la grande

profondeur d'eau qu'eu égard à la nature du fond, qui est parsemé de têtes de roches sur lesquelles s'enroulerait la chaîne de retenue. On ne pouvait songer non plus à établir sur ce point une construction métallique reposant directement sur l'écueil : le percement de trous profonds, de $0^m,18$ à $0^m,20$ de diamètre, qu'exigerait le scellement des montants, serait une opération des plus difficiles et de bien longue durée; les principaux plans de clivages de la roche étant verticaux, il serait à craindre qu'elle ne résistât pas aux ébranlements qu'elle aurait à supporter; enfin, il serait presque impossible de débarquer des pièces de fer, nécessairement lourdes et difficiles à manier, et l'on serait exposé à en perdre plusieurs avant de parvenir à les mettre en place. La Commission des phares émit en conséquence l'avis, dans sa séance du 29 novembre 1866, qu'il fallait essayer d'établir un massif en maçonnerie sur la roche Ar-Men, en lui donnant de telles dimensions qu'il pût servir ultérieurement de base à un phare.

Ni la commission de 1860, ni les ingénieurs hydrographes, ni les ingénieurs du département, ni leurs marins, ni le directeur du service des phares n'étaient encore parvenus à descendre sur la roche. M. Ploix n'avait pas pu s'en approcher à moins de 15 mètres; mais M. l'ingénieur Joly avait réussi à la ranger de plus près, et les dessins qu'il avait pris, et complétés sur les indications des pêcheurs de l'île de Sein qui l'accompagnaient, permettaient de présenter un système de construction à titre de point de départ. On savait que la roche avait une largeur de 7 à 8 mètres au niveau des basses mers sur une

longueur de 12 à 15 mètres; que sa surface était fort inégale; qu'elle était divisée par de profondes fissures, et que, presque accore du côté de l'est, elle s'inclinait en pente douce à l'opposé. Bientôt le syndic des gens de mer de l'île annonça qu'une nouvelle tentative faite par lui dans des circonstances favorables avait été couronnée de succès, et il envoya un échantillon qui montra que la roche est formée d'un gneiss assez dur, sauf en quelques points où il y a décomposition.

Le mode de construction auquel on s'arrêta est le suivant : percer dans la roche, sur tout l'emplacement que doit couvrir l'édifice, des trous de fleuret de $0^{m},30$ de profondeur, espacés de mètre en mètre environ, et quelques autres en dehors de cette limite : ces derniers, appelés à recevoir des organeaux pour faciliter les accostages ou tenir des haubans, les premiers, destinés au scellement de goujons en fer ayant pour objet, à la fois, de fixer la maçonnerie au rocher et de faire servir la construction elle-même à relier entre elles les diverses parties de cette roche fissurée, et à consolider ainsi une base qui n'inspirait qu'une confiance limitée. Il était dit en outre que d'autres goujons verticaux et de vigoureuses chaînes horizontales en fer seraient introduits dans la maçonnerie au fur et à mesure qu'elle s'élèverait, de manière à s'opposer à toute disjonction.

Pour le percement des trous, on s'adressa aux pêcheurs de l'île de Sein, dont l'industrie s'exerce au milieu de toutes les roches de la chaussée, et qui étaient, par conséquent, mieux que personne à même de profiter de toutes les occasions favorables. Après bien des difficultés, ils ac-

ceptèrent un marché à forfait, l'Administration leur fournissant les outils et des ceintures de sauvetage.

Ils se mirent résolûment à l'œuvre en 1867. Dès qu'il y avait possibilité d'accoster, on voyait accourir des bateaux de pêche; deux hommes de chacun descendaient sur la roche, munis de leur ceinture de liége, se couchaient sur elle, s'y cramponnant d'une main, tenant de l'autre le fleuret ou le marteau, et travaillaient avec une activité fébrile, incessamment couverts par la lame, qui déferlait par-dessus leurs têtes. L'un d'eux était-il emporté? la violence du courant l'entraînait loin de l'écueil contre lequel il se serait brisé, sa ceinture le soutenait, et une embarcation allait le prendre pour le ramener au travail. A la fin de la campagne, on avait pu accoster sept fois, on avait eu en tout huit heures de travail, et quinze trous étaient percés sur les points les plus élevés. C'était un premier pas vers le succès. L'année suivante, on se trouvait en présence de plus grandes difficultés, puisqu'il fallait se porter sur des points qui découvraient à peine, mais on avait acquis de l'expérience; des prix plus forts accrurent l'ardeur au travail, la saison fut favorable, on eut seize accostages, dix-huit heures de travail, et l'on parvint à percer quarante nouveaux trous; on put même exécuter les dérasements partiels nécessaires à l'établissement de la première assise des maçonneries.

La construction proprement dite fut entreprise en 1869. Des goujons en fer galvanisé, de $0^{m},06$ d'équarrissage et de 1 mètre de longueur, furent implantés dans les trous, et l'on maçonna d'abord en petits moellons bruts et ciment de Parker-Médina. Il fallait, en effet, une

prise des plus rapides, car on travaillait au milieu des lames qui venaient se briser sur la roche et qui parfois arrachaient, de la main de l'ouvrier, la pierre qu'il se disposait à placer. Un marin expérimenté, adossé contre un des pitons du rocher, était au guet, et l'on se hâtait de maçonner quand il annonçait une accalmie, de se cramponner quand il prédisait l'arrivée d'une grosse lame. Les ouvriers, le conducteur, l'ingénieur, qui encourageait toujours les travailleurs par sa présence, étaient d'ailleurs munis, comme l'avaient été les pêcheurs, de ceintures fournies par la Société de sauvetage des naufragés, et d'espardilles destinées à prévenir les glissements.

Toutes les fois que l'état exceptionnel de la mer présentait quelques chances de débarquement, une petite chaloupe à vapeur, portant le personnel et la quantité de matériaux qu'on espérait pouvoir mettre en place dans la marée, partait de l'île, de manière à arriver en vue de la roche vers quatre heures de jusant, et elle remorquait les canots d'accostage; mais on ne trouvait pas toujours au large le calme sur lequel on comptait, et la journée était perdue. Quand on pouvait accoster, on débarquait à la main les pierres et les petits sacs de ciment, et l'on avait soin, avant de bâtir, de piquer à vif la surface sur laquelle devait s'établir la nouvelle maçonnerie. Il est sans doute inutile d'ajouter que le ciment était employé pur; on le gâchait à l'eau de mer.

A la fin de la campagne de 1869, on avait exécuté 25 mètres cubes de maçonnerie, que l'on retrouva intacts l'année suivante.

Aujourd'hui, le cube des maçonneries s'élève à 454^{m},85,

et elles dominent de $2^{m},60$ le niveau des plus hautes mers. Le succès de l'entreprise paraît assuré, et l'on espère marcher désormais plus rapidement que par le passé.

Depuis 1871, le ciment de Portland, dont la résistance à la décomposition par l'eau de mer paraît bien établie, a été substitué au ciment Parker, qui ne présente pas le même mérite; et l'on compte préserver les maçonneries du pied de la construction par des rejointoyements exécutés en même matière et peut-être par une enveloppe continue.

Des expériences, faites sur l'adhérence que les pierres du pays contractent avec le mortier, ayant fait reconnaître que la roche amphibolique de Kersanton était la meilleure de toutes sous ce rapport, comme sous beaucoup d'autres d'ailleurs, elle a été employée exclusivement à l'exécution des maçonneries. Les moellons de parement sont smillés, ceux de remplissage sont dans l'état où les fournit la carrière; tous sont de petites dimensions.

Des goujons, des tirants et des ceintures en fer galvanisé sont noyés dans les maçonneries, afin de prévenir les disjonctions.

D'après le programme récemment adopté, le phare sera de second ordre, à feu scintillant; on élèvera son foyer à 28 mètres au-dessus du niveau des plus hautes mers. On eût dépassé cette limite et admis un appareil de premier ordre, si l'on n'avait été arrêté par l'insuffisance du diamètre à la base. Il fallait s'attacher à assurer la stabilité de la construction.

Le massif plein qui constitue le soubassement se pro-

longera jusqu'au niveau des hautes mers avec le diamètre de $7^m,20$, auquel la largeur du rocher a obligé de se restreindre, et avec celui de $6^m,90$ sur les trois mètres suivants. Le diamètre intérieur des chambres variera de 3 mètres dans le bas à $3^m,40$ dans le haut, au moyen de retraites successives, et l'épaisseur du mur passera de $1^m,70$, au niveau de la porte d'entrée, à $0^m,80$ au-dessous de la corniche de couronnement. Il y aura huit étages dans la hauteur de l'édifice, dont l'un sera consacré à l'appareil sonore destiné à signaler la position dans les temps de brume.

Le tableau ci-après fait connaître, en reproduisant quelques-uns des chiffres déjà donnés, les principaux faits relatifs aux travaux exécutés à partir de 1867.

ANNÉES.	NOMBRE des accostages.	NOMBRE des heures passées sur la roche.	CUBE des maçonneries exécuté par année.	CUBE des maçonneries exécuté par accostage.	DÉPENSE par année.	PRIX MOYEN du mètre cube.
1867	7	$8^h\ 00^m$	"	"	8,000f	"
1868	16	18 00	"	"	21,000	"
1869	24	42 10	$25^m,05$	$1^m,04$	25,000	998f
1870	8	18 5	11 ,55	1 ,44	26,336	2,289
1871	12	22 10	23 ,40	1 ,95	17,000	721
1872	13	34 20	54 ,55	4 ,20	40,000	727
1873	6	15 25	22 ,00	3 ,67	62,000	2,818
1874	18	60 10	115 ,30	6 ,41	71,800	623
1875	23	110 55	203 ,00	8 ,80	76,000	375
TOTAUX	127	$329^h\ 15^m$	$454^m,85$	$4^m,37$	347,136f	

Ce travail a été conçu et arrêté, en ce qui est essentiel, par M. Léonce Reynaud, directeur du service des phares. Il a été exécuté, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Planchat d'abord, puis sous celle de M. l'ingénieur en chef Fénoux, par MM. les ingénieurs Joly, de 1867 à 1868; Cahen, de 1869 à 1874, et Mengin, depuis 1875. MM. Lacroix, conducteur principal, et Probestreau, conducteur, ont été successivement chargés de la surveillance de l'œuvre.

On regrette, car il n'y aurait que justice à le faire, de ne pouvoir ajouter à ces noms ceux de ces braves marins et ouvriers bretons, qui, inconscients de leurs titres à l'admiration, ont, à force d'énergie et de dévouement, assuré le succès d'une entreprise plus hardie, plus téméraire, pourrait-on dire, qu'aucune de celles du même genre.

XLVII

TOURELLE ET CANDÉLABRE

POUR FEUX DE PORT.

Deux modèles à l'échelle de un dixième.

La tourelle a été disposée dans le but de réaliser le mode de construction le plus simple, le plus économique, présentant en même temps les plus grandes facilités de transport et d'installation.

Elle repose sur un tourteau en fonte d'une seule pièce, fixé par cinq boulons soit à la maçonnerie, soit aux pièces de charpente de la jetée.

La construction se compose d'un cylindre en tôle rivetée de $1^{m},40$ de diamètre et de $6^{m},40$ de longueur, avec marches intérieures en tôle striée, s'appuyant à l'intérieur sur une colonne ou noyau central en fonte, et à l'extérieur, sur l'enveloppe, au moyen de cornières rivetées. Le cylindre et l'escalier forment un tout, ne se démontant pas, qui ne dépasse pas la longueur réglementaire imposée par les tarifs de transport sur chemin de fer, et qu'il est facile de manœuvrer et de dresser au moyen d'une chèvre.

Des nervures et des consoles en fonte boulonnées contre le cylindre, supportant une galerie de service à jour en fonte et une balustrade en fer forgé, puis une murette cylindrique en tôle servant de support à la lanterne, complètent la construction de la tour proprement dite.

La lanterne est en bronze; elle est surmontée d'une coupole en cuivre rouge, et elle porte des glaces cylindriques.

A la base du candélabre sur lequel se pose l'appareil, un palier tournant, en fonte, facilite au gardien le nettoyage des glaces, sans obstruer d'une manière permanente le passage de l'escalier.

Après la mise en place du cylindre et de la murette, à l'aide d'une chèvre, le montage de toutes les autres pièces, relativement légères, dont la construction se compose, s'opère facilement au moyen d'une moufle suspendue à un madrier faisant saillie en dehors de la murette, et y étant solidement attachée par des cordes.

Le poids de la tourelle proprement dite, de sa plaque de fondation et de sa murette, est d'environ 6,500 kilog.

Le prix de la construction, y compris la lanterne, son vitrage et le candélabre qui supporte l'appareil, est de 9,200 francs, à Paris.

Le candélabre permet de placer un feu de port à l'extrémité d'une jetée très-étroite, de le hisser pendant la nuit à une hauteur pouvant aller jusqu'à 8 mètres, et de l'abriter pendant le jour, dans une cabane en tôle fermant à clef.

Cette cabane porte deux montants verticaux en tôle, au sommet desquels se fixe une poulie montée sur chape en fonte.

Deux guides en fer méplat s'élèvent verticalement le long de ces montants; ils sont tenus, en haut, par deux bras en fer partant du sommet des montants; en bas, par une table en tôle et fer qui fait saillie en dehors de la cabane.

C'est sur cette table extérieure qu'on fait rouler l'appareil quand on veut le hisser. Il est pourvu d'oreilles, dans lesquels s'engagent les fers méplats qui le guident dans son ascension et le maintiennent quand il est arrivé en haut.

La face de la cabane qui regarde la table de service et les guides est percée d'une ouverture suffisante pour le passage du fanal, et fermée par deux volets ouvrant en dedans.

Au-dessus de cette ouverture, et en dedans de la cabane, est le petit treuil en fonte, avec frein, sur lequel s'enroule la chaîne de hissage.

Une table intérieure reçoit l'appareil quand il n'est pas en service; elle se termine par un plateau tournant, en fonte, destiné à faciliter le nettoyage.

La face opposée de la cabane est percée d'une ouverture, avec porte fermant à clef.

L'intérieur est éclairé par deux lucarnes latérales et par un trou rond, vitré, percé dans le toit, qui permet de suivre de l'intérieur l'ascension du fanal et de vérifier s'il est allumé.

Le poids de la cabane est de 1,000 kilogrammes environ; son prix, tous ses accessoires compris, de 1,680 francs, à Paris.

Ces deux petites constructions ont été adoptées par la Direction des phares.

Elles ont été conçues et sont exécutées par MM. L. Sautter, Lemonnier et Cie;

M. Baillet, contre-maître.

APPAREILS D'ÉCLAIRAGE.

1° *Appareil pour lumière électrique.* — Cet appareil est destiné à produire, avec la lumière électrique, un feu à éclipses de 30 en 30 secondes. Il comprend un appareil de feu fixe, de $0^m,50$ de diamètre, éclairant les trois quarts de l'horizon, autour duquel tourne en huit minutes un tambour ayant $0^m,62$ de diamètre, et composé de seize éléments lenticulaires verticaux.

Dans le profil de l'appareil de feu fixe, la partie centrale dioptrique occupe verticalement un angle de 76 degrés, qui est plus grand que dans les anciens profils. Cette disposition a été adoptée afin que le rayon lumineux rencontre le dernier élément dioptrique sous le même angle que le premier anneau catadioptrique, et n'éprouve pas plus de perte par réflexion sur l'un que sur l'autre. L'appareil devant être placé sur un point élevé, les profils des différentes parties, excepté ceux des deux anneaux catadioptriques du bas, ont été calculés de manière à faire plonger les rayons émergents, de 30 minutes au-dessous du plan horizontal; dans le calcul des deux anneaux du bas, cet angle a été porté à 3 degrés pour l'avant-dernier, et à 5 degrés pour le dernier, afin que le phare reste visible à une petite distance, c'est-à-dire pour un navigateur situé au-dessous du faisceau divergent qu'émet le reste de l'appareil.

Les seize lentilles verticales sont contiguës, et se composent chacune d'un seul élément de $0^m,12$ environ de largeur, dont la courbure a été calculée de manière à donner, avec la lumière électrique, une divergence horizontale de $3^\circ,7$. La durée d'apparition d'un éclat est, d'après cela, de cinq secondes environ, et l'intervalle entre la fin d'un éclat et le commencement du suivant est de vingt-cinq secondes.

L'intensité maximum de l'éclat s'élève à 60,000 becs environ, en supposant au foyer une lumière électrique de 200 becs.

2° *Appareil de troisième ordre.* — Cet appareil présente un caractère tout nouveau. A un feu fixe blanc pendant une demi-minute, il fait succéder, pendant la demi-minute suivante, huit éclats dont l'intervalle est de trois secondes $\frac{3}{4}$.

A mesure que le nombre des phares s'est multiplié sur les côtes de France, il est devenu plus difficile de leur donner des caractères tranchés. La Commission des phares n'avait admis, dans son programme de 1825, que trois caractères différents pour les phares de premier ordre : le feu fixe, le feu à éclipses se succédant de minute en minute, et le feu à éclipses de demi-minute en demi-minute. Elle avait, en outre, conservé la combinaison anciennement appliquée auprès du Havre, et consistant à allumer deux feux à côté l'un de l'autre. Un caractère, qui avait d'abord été réservé pour les feux de second et de troisième ordre, a été ultérieurement attribué à quelques phares de premier ordre : c'est le feu varié par des éclats à trois ou quatre minutes d'intervalle. Un autre système,

adopté récemment sous le nom de *feu scintillant*, consiste à produire des éclats se succédant rapidement à quelques secondes d'intervalle. Enfin, la coloration de la lumière a été appelée à donner de nouveaux caractères distinctifs, et l'on a eu successivement le feu fixe blanc varié par des éclats rouges, le feu à éclipses avec éclats alternativement rouges et blancs, le feu à éclipses avec deux éclats blancs succédant à un éclat rouge. D'autres combinaisons ont encore été adoptées pour les feux de second et de troisième ordre : comme le feu fixe rouge, le feu rouge à éclipses, le feu alternativement blanc et rouge avec ou sans éclipses, le feu alternativement blanc, rouge, blanc et vert. Cette énumération fait voir combien on s'est ingénié à varier les apparences des phares.

Lorsqu'il s'est agi de fixer le caractère qui serait attribué au nouveau phare projeté sur la roche du Four, aux abords de Brest, on a éprouvé quelque embarras. Les feux sont, en effet, très-nombreux dans ces parages, et la plupart des caractères en usage s'y trouvent appliqués. Il y a d'ailleurs lieu de remarquer qu'il ne suffit pas de différencier deux feux voisins par un détail secondaire dans les apparences qu'ils présentent; il faut, si l'on veut éviter toute chance de confusion, que la différence soit très-tranchée.

On a donc été conduit à imaginer, pour le phare du Four, une combinaison n'ayant pas encore été appliquée, et c'est ainsi qu'on est arrivé à ce caractère de feu alternativement fixe et scintillant décrit ci-dessus.

L'appareil d'éclairage est de troisième ordre, et a 1 mètre de diamètre; il se compose de deux parties dif-

férentes, occupant chacune une moitié de la circonférence. La première partie est un appareil de feu fixe ordinaire; la seconde partie comprend huit panneaux annulaires complets, occupant chacun $\frac{1}{16}$ de circonférence, et destinés à produire les huit éclats du feu scintillant.

La machine de rotation est placée dans le socle de l'appareil: elle a reçu les dispositions particulières adoptées pour les appareils tournant rapidement. La rotation de l'appareil du Four se fait en une minute.

La lampe est à mouvement d'horlogerie, avec bec à trois mèches disposé pour brûler de l'huile minérale.

L'intensité de la lampe est de 14 becs carcel; celle du feu fixe est de 220 becs, et celle de l'un des éclats du feu scintillant atteint 930 becs dans l'axe.

Le prix de l'appareil, lampes et machine comprises, est de 17,300 francs.

3° *Appareil de second ordre* (un dessin de l'appareil entier, et un panneau annulaire de $\frac{1}{8}$). — Cet appareil est destiné au phare du Pilier qui est situé à l'embouchure de la Loire, et dont la tour vient d'être reconstruite. On a conservé le caractère qui lui avait été donné en 1829, celui de feu fixe varié par des éclats de quatre en quatre minutes. Pour produire ce caractère, on a adopté un appareil de feu fixe, dont deux secteurs de $\frac{1}{8}$ d'horizon, opposés l'un à l'autre, sont remplacés par des lentilles annulaires complètes, et on le fait tourner à raison d'un tour en huit minutes. Afin que les deux espèces de lentilles se raccordent sur les bords et puissent avoir une crémaillère commune, la distance focale, qui est de $0^m,700$ pour les lentilles de feu fixe, a été réduite à $0^m,647$ pour les len-

tilles annulaires. La lampe focale porte cinq mèches concentriques, au lieu de quatre qu'ont habituellement les lampes de second ordre, parce que le feu étant coloré en rouge dans certaines directions, on a jugé nécessaire d'en augmenter l'intensité.

Cet appareil présente plusieurs dispositions nouvelles, dont quelques-unes sont appliquées pour la première fois.

1° Dans la partie centrale ou dioptrique du profil, les joints qui séparent les éléments et, par suite, les côtés inférieurs de ces éléments, au lieu d'être horizontaux, sont inclinés suivant la direction du rayon réfracté. Ce système a plusieurs avantages : il supprime une partie triangulaire de verre qui est inutile, et il diminue par suite le poids de l'appareil; il réduit dans une forte proportion la perte de lumière qu'occasionnent les joints horizontaux; il rend moins aigus, et par conséquent moins fragiles, les angles extérieurs des éléments; il diminue en outre leur saillie, ce qui permet de donner à la lentille dioptrique une plus grande hauteur.

2° La lentille centrale ou dioptrique embrasse un angle vertical de 76 degrés, tandis que, dans les anciens profils, cet angle n'était que de 60 degrés environ; sa hauteur se trouve ainsi portée de $0^m,85$ à $1^m,10$. On obtient par là cet avantage, que les rayons lumineux rencontrent le dernier élément dioptrique sous le même angle que le premier anneau catadioptrique, et n'éprouvent pas plus de perte par réflexion sur l'un que sur l'autre.

3° Le profil dont on se sert ordinairement dans les appareils de deuxième ordre avait été calculé pour le cas

d'un bec de lampe à trois mèches ayant $0^m,074$ de diamètre. Avec un bec à cinq mèches, de $0^m,110$ de diamètre, les éléments inférieurs de la lentille dioptrique et les anneaux catadioptriques du bas, construits d'après cet ancien profil, émettent des rayons qui ne sont plus dans la direction convenable, parce que la portion de flamme que la base du bec laisse visible se trouve sensiblement plus rapprochée de la lentille que dans le cas d'un bec à trois mèches. Pour diminuer cet inconvénient, on a donné au bec une forme étagée, en plaçant chaque mèche à $0^m,002$ au-dessous de celle qui la précède du côté du centre. Cette disposition ne diminue ni la régularité ni l'intensité de la flamme, et la portion de cette flamme, visible de chacun des éléments lenticulaires du bas, se trouve un peu augmentée. En outre, ces éléments inférieurs ont été calculés en déterminant, pour chacun d'eux, un foyer particulier pris sur la ligne la plus brillante de la partie apparente de la flamme, au lieu de l'être sur l'axe même de la lampe. Des dispositions analogues pourraient être adoptées avec avantage dans beaucoup de cas.

4° La lentille centrale et les anneaux du bas sont compris dans un même cadre; les anneaux du haut sont montés dans un second cadre, qui est séparé du premier par une entretoise métallique. Dans les lentilles annulaires, cette entretoise présente la forme d'un arc de cercle ayant, comme les anneaux, son centre sur l'axe optique; il en résulte qu'on peut laisser les anneaux intacts, au lieu de les couper horizontalement comme on le faisait jusqu'à présent.

5° La lampe, qui se trouve au foyer de la lentille

exposée, présente des dispositions particulières, dues à M. Dénéchaux, faisant fonctions d'ingénieur ordinaire au service central des phares. Ainsi, les poches ou valvules en peau et les clapets en cuir, qui donnent quelquefois lieu à des dérangements, ont été remplacés par des pistons ordinaires et des clapets métalliques. Ce système a produit de bons résultats dans les expériences du dépôt, mais n'a pas encore reçu la sanction de la pratique.

La lampe à cinq mèches et à huile minérale ayant une intensité de 36 becs carcel, l'appareil de feu fixe produit une intensité de 640 becs, et les lentilles annulaires donnent un éclat de plus de 5,000 becs.

4° *Appareil catoptrique à feu clignotant.* — Beaucoup de feux de direction, n'ayant à éclairer que dans un espace angulaire très-restreint, ont pour appareil un simple réflecteur parabolique. Ce sont des feux fixes. Mais il est quelques circonstances où ils peuvent être confondus avec d'autres phares du voisinage ou avec les feux allumés sur les navires au mouillage. On remédie à ces inconvénients, sans changer d'appareil, en faisant passer rapidement et à intervalles égaux un écran devant le réflecteur. Ce système a été appliqué pour la première fois en 1865, au phare de Patiras (Gironde); les navigateurs en ont paru très-satisfaits, et il a été employé depuis sur plusieurs points du littoral. Il a le double mérite d'être très-caractéristique et peu dispendieux.

L'appareil exposé consiste en un réflecteur parabolique de $0^m,50$ d'ouverture, et un écran vertical auquel une petite machine de rotation imprime un mouvement circulaire.

Le feu est fixe, varié par de très-courtes éclipses qui se succèdent de quatre en quatre secondes.

5° *Appareil catoptrique pour feu de direction.* — Cet appareil se compose d'un réflecteur parabolique de $0^m,50$ d'ouverture, éclairé par un bec à deux mèches à huile minérale. La lampe est à réservoir inférieur sans mécanisme, l'huile montant au bec par l'effet de la capillarité. Le réservoir a la forme d'un cylindre de $0^m,20$ de diamètre; il est placé derrière le réflecteur et communique avec le bec par un tube recourbé, muni d'un robinet à trois voies. Sa contenance est de 3 litres $\frac{1}{2}$, jusqu'à $0^m,04$ au-dessous du niveau du bec. La consommation étant de 175 grammes par heure, la lampe peut brûler pendant au moins seize heures, et le niveau, pendant ce temps, s'abaisse d'environ $0^m,10$. Tout le système est établi sur une plaque circulaire en tôle qu'on peut faire tourner sur des galets, afin de faciliter le service, et qu'on arrête ensuite dans la position convenable au moyen d'un prisonnier. Le réflecteur est fixé par un crochet sur le côté de la lampe, qui supporte également l'obturateur au moyen d'une tige.

L'intensité lumineuse de la lampe est de 6 becs $\frac{1}{2}$ environ; celle du réflecteur est de près de 400 becs dans l'axe, et elle va, en diminuant de chaque côté, jusqu'à une distance angulaire de 17 degrés.

6° *Appareil pour feu provisoire.* — Cet appareil est destiné à servir de rechange lorsqu'un phare existant a besoin de réparation, ou de feu provisoire en attendant l'installation d'un phare définitif. Il est disposé de manière à

produire à volonté les différents caractères que présentent les feux du littoral.

Il se compose d'un appareil de feu fixe de $0^m,375$ de diamètre, éclairant les trois quarts de l'horizon, et d'un tambour de $0^m,50$ de diamètre, composé de huit lentilles verticales. La lanterne est circulaire, et a $0^m,81$ de diamètre extérieur. Le piédestal, de $0^m,45$ environ de diamètre, contient une machine qui imprime au tambour lenticulaire un mouvement de rotation. Les différentes parties de cet appareil ont des dimensions aussi réduites que possible, afin qu'on puisse facilement le transporter et le monter sur la galerie extérieure d'un phare en réparation, ou sur une charpente provisoire.

La machine de rotation peut imprimer au tambour trois vitesses différentes, que l'on obtient à volonté par un système d'embrayage. Les lentilles verticales glissent dans des rainures de l'armature, de sorte qu'on peut en enlever autant qu'il est nécessaire pour produire le caractère voulu. Elles sont formées de deux parties superposées. Chacune d'elles est accompagnée d'un petit cadre dans lequel on peut placer, s'il y a lieu, un verre coloré. La lampe focale est à réservoir inférieur sans mécanisme, avec bec à deux mèches brûlant de l'huile minérale; elle reçoit une cheminée blanche ou colorée, suivant les cas; elle peut être remplacée par une lampe à une mèche, si l'on n'a besoin que d'une faible intensité.

On produit avec cet appareil :

Un feu fixe blanc ou coloré, en enlevant toutes les lentilles verticales ainsi que la machine, et en plaçant sur la lampe une cheminée blanche ou colorée;

Un feu à éclipses de minute en minute, ou à éclipses de trente en trente secondes, ou scintillant, en conservant toutes les lentilles verticales et en faisant produire par la machine l'une des trois vitesses qu'elle peut donner;

Un feu à éclipses avec des éclats alternativement blancs et rouges ou rouges et verts, en plaçant devant un certain nombre de lentilles des verres rouges ou verts, dans l'ordre indiqué par le caractère du feu;

Un feu fixe varié par des éclats précédés et suivis d'éclipses, en conservant une des lentilles verticales, ou plusieurs de ces lentilles également espacées, et en adoptant une des trois vitesses, suivant l'intervalle que doivent avoir les éclats;

Un feu fixe varié par des éclats sans éclipses, en enlevant la moitié de chacune des lentilles verticales, et en adoptant une des trois vitesses.

L'intensité lumineuse de la lampe à deux mèches étant de 6 becs $\frac{1}{2}$, celle du feu fixe est de 40 becs, et celle de l'éclat s'élève à 200 becs.

Les appareils d'éclairage portant les n°s 2, 3 et 4 ont été exécutés par MM. Henry-Lepaute; l'appareil à feu électrique a été établi par MM. L. Sautter, Lemonnier et Cie; l'appareil pour feux provisoires l'a été par MM. Barbier et Fenestre. Tous ces messieurs sont constructeurs de phares à Paris. Quant à l'appareil n° 5, il a été exécuté par M. Luchaire, constructeur d'appareils d'éclairage à Paris.

Les projets de ces appareils ont été rédigés par M. Émile Allard, ingénieur en chef des ponts et chaussées, sous la direction de M. l'inspecteur général Léonce Reynaud.

Le verre provient de la manufacture de Saint-Gobain.

XLIX

LAMPES ET USTENSILES

POUR

L'ÉCLAIRAGE DES PHARES À L'HUILE MINÉRALE.

Les phares de France, comme ceux de la plupart des autres pays de l'Europe, étaient il y a peu de temps exclusivement éclairés à l'huile de colza. Lorsque l'usage des huiles minérales commença à se répandre, l'Administration française dut songer à profiter des avantages de ce nouveau combustible. Des essais furent faits dès 1856 avec de l'huile de schiste, et donnèrent de bons résultats dans les lampes à une mèche. En 1865, cette huile était employée dans presque tous les fanaux du littoral; mais on se refusait à l'introduire dans les lampes à plusieurs mèches, à cause des craintes qu'inspirait l'inflammabilité de ses vapeurs, lorsque le capitaine Doty, citoyen américain, vint proposer, en 1868, un bec de lampe à quatre mèches dans lequel il brûlait de l'huile minérale. Il fit en même temps connaître un produit, nommé huile paraffine d'Écosse, qui avait le précieux avantage de n'émettre de vapeurs inflammables qu'à une température de 60 à 70 degrés centigrades, tout en donnant d'excellents résultats au point de vue de l'intensité lumineuse. Après une série d'essais poursuivis au Dépôt central et dans quelques phares, l'emploi de cette huile fut adopté d'une manière générale, et introduit dans tous les phares du littoral français, à

l'exception des feux flottants qui brûlent encore de l'huile de colza. Dans ces derniers temps, quelques fabricants français sont parvenus à obtenir des produits qui remplissent les mêmes conditions que l'huile paraffine, et paraissent même lui être à quelques égards préférables, tout en étant d'un prix moins élevé. Depuis le 1er janvier dernier, l'huile minérale employée dans les phares de France provient de l'usine de M. Deutsch, près Paris, et elle coûte 79 centimes le kilogramme, rendue à destination.

L'adoption de ce nouveau mode d'éclairage devait entraîner une notable diminution de dépense; on jugea convenable d'employer une partie de l'économie à augmenter, dans l'intérêt de la navigation, l'intensité lumineuse des appareils. Les becs de lampe, dans les différents ordres de phares, furent donc agrandis de manière à recevoir chacun une mèche de plus, et on profita de la nécessité où l'on se trouvait de les reconstruire tous, pour y introduire de l'uniformité en donnant exactement le même diamètre aux mèches de même rang à partir du centre.

Les becs exposés ont depuis une jusqu'à six mèches. Les cinq premiers sont affectés aux cinq ordres de phares; le bec à six mèches est réservé pour des cas exceptionnels. Le diamètre extérieur de ces becs augmente de $0^m,02$ depuis $0^m,03$ jusqu'à $0^m,13$. Chaque mèche est contenue entre deux cylindres de cuivre mince espacés de $0^m,005$, et elle est séparée de la mèche voisine par un vide annulaire de $0^m,005$ destiné à l'ascension de l'air froid, l'épaisseur du métal étant prise du côté de la mèche. Le diamètre

moyen des mèches varie ainsi régulièrement de $0^m,025$ à $0^m,125$.

Les becs à une et à deux mèches peuvent être employés dans les lampes ordinaires à niveau constant, et tels sont les deux modèles exposés à côté des autres becs; mais ils sont souvent placés sur des lampes à réservoir inférieur qui n'ont aucun mécanisme, et dans lesquelles l'huile monte au bec par l'action de la capillarité. La première lampe de cette espèce dont on ait fait usage se nommait lampe Maris, du nom du constructeur; elle a été successivement modifiée et améliorée au Dépôt des phares. Celle dont on se sert aujourd'hui, et dont deux modèles figurent à l'Exposition, se compose d'un réservoir cylindro-conique disposé de manière à rapprocher, autant que possible, la masse de l'huile du sommet du bec, sans cependant arrêter la marche des rayons lumineux que la flamme envoie vers les anneaux inférieurs de l'appareil optique. Ce réservoir a une contenance de 12 décilitres pour les lampes à une mèche, et de 3 litres pour les lampes à deux mèches.

Les becs qui ont de trois à six mèches sont employés sur les anciennes lampes à mouvement d'horlogerie ou à poids intérieur. Chaque bec se visse par la partie inférieure sur le tube de la lampe par lequel monte l'huile. Celle-ci arrive alors dans le petit réservoir cylindrique de faible hauteur qui forme la base du bec. Dans les lampes qui brûlaient de l'huile de colza, ce réservoir communiquait directement par des tubes verticaux avec les enveloppes annulaires des mèches, et l'huile en surabondance se déversait par-dessus le bec pour retomber dans le corps de lampe. Le même système ne peut plus s'appliquer à l'huile

minérale, dont le niveau doit rester à $0^m,04$ ou $0^m,05$ au-dessous de la couronne du bec. Aussi M. Doty avait-il adopté une combinaison différente. Un grand réservoir d'huile, dans lequel le niveau était maintenu constant par l'appareil ordinaire connu sous le nom de vase de Mariotte, communiquait par un tube avec le bec, qui pouvait être placé à une distance plus ou moins grande, et dont le sommet était établi à la hauteur voulue au-dessus du niveau constant. Cette disposition donnait de bons résultats et convenait pour faire des expériences, mais elle était évidemment inadmissible dans la pratique. M. Doty eut alors l'idée d'adapter aux lampes ordinaires un tube latéral communiquant avec le bec, et ouvert par la partie supérieure au niveau convenable; l'huile en surabondance se déversait par cet orifice et retombait dans le corps de lampe par un tube enveloppant le premier. Mais cet appendice latéral, uniquement destiné à maintenir le niveau constant, pouvait être remplacé avec avantage par un orifice quelconque établi dans l'intérieur du bec au niveau voulu et donnant issue à l'huile; les premières lampes furent donc établies avec un tube placé dans l'axe du courant d'air intérieur, communiquant par le bas avec l'intérieur du bec, et ouvert par le haut à $0^m,04$ ou $0^m,05$ en contre-bas du sommet. Ces becs donnèrent de bons résultats dans les expériences du Dépôt et furent appliqués dans quelques phares. On reconnut qu'ils fonctionnaient convenablement toutes les fois que la marche de la lampe ne laissait rien à désirer; mais que si le mécanisme présentait une légère imperfection ou s'il y avait quelque inégalité dans les valvules des pompes, la vitesse d'ascension

de l'huile éprouvait des variations plus ou moins brusques qui rendaient la flamme difficile à régler. Pour remédier à cet inconvénient, on a supprimé la communication directe entre le réservoir et le bec, et on a fait passer l'huile par un appendice latéral disposé de manière à maintenir le niveau constant. Cet appendice, dont les dispositions ont été imaginées par M. le conducteur principal Dénéchaux, faisant fonctions d'ingénieur ordinaire, comprend trois tubes juxtaposés, ouverts par le haut et entourés d'une enveloppe qui s'élève un peu au-dessus. Le tube central aboutit par le bas au petit réservoir dont nous avons parlé; l'huile, qui n'a pas d'autre issue, monte par ce tube et, arrivée au sommet, tombe dans le deuxième tube qui la conduit au bec, de sorte qu'elle en remplit toute la capacité intérieure jusqu'au niveau qu'elle a dans l'appendice latéral. Comme la quantité d'huile que fournit la lampe dépasse la consommation, l'excédant coule dans le troisième tube par-dessus un déversoir un peu plus élevé que celui que franchit l'huile pour se rendre au bec. Ce troisième tube conduit la surabondance d'huile jusque dans le grand réservoir de la lampe; il reçoit, en outre, par un petit conduit latéral, les égouts d'huile de la cuvette qui forme la base du bec. Un disque horizontal de $0^m,020$ de diamètre surmonte de $0^m,017$ à $0^m,023$, suivant la grandeur du bec, le tube du courant d'air central, et un cylindre extérieur partage en deux le courant d'air qui s'établit entre le bec et la cheminée. C'est sur ce cylindre extérieur que glisse le porte-cheminée.

Les becs ainsi construits donnent de très-bons résultats. Les flammes sont faciles à régler et conservent une forme

à peu près constante, sans éprouver d'oscillations sensibles. Les bulles d'air qui peuvent être entraînées par le liquide s'échappent par le tube latéral et ne peuvent plus nuire à la régularité de la flamme. Si, par une cause quelconque, le mécanisme de la lampe cesse momentanément de fonctionner, il n'y a pas d'extinction immédiate, parce que l'appendice latéral et le bec formant réservoir fournissent pendant quelques instants l'huile nécessaire à la combustion, ce qui permet de remédier à l'accident de la lampe s'il a peu d'importance. Un autre avantage de ce système, c'est que l'huile de surabondance, ne passant plus dans les conduits d'air, n'en diminue plus la section, et que n'ayant pas été en contact avec les mèches elle n'a rien perdu de sa qualité, et n'altère pas celle de l'huile du réservoir à laquelle elle vient se mêler.

Il n'est pas inutile de faire remarquer que toutes les lampes, à l'exception de celles qui ont un réservoir inférieur sans mécanisme, sont disposées de manière à pouvoir au besoin brûler de l'huile de colza, si une cause quelconque obligeait à en reprendre momentanément l'emploi dans un phare. On arrive à ce résultat en relevant à la hauteur convenable le réservoir des lampes à niveau constant, au moyen d'un cran établi le long de l'enveloppe; et, pour les lampes des trois premiers ordres, en fermant l'orifice supérieur de l'appendice latéral ainsi que le tube par lequel l'huile en surabondance descend au réservoir, ce qui oblige l'huile à monter dans le bec jusqu'au sommet et à se déverser par-dessus.

Les chiffres contenus dans le tableau suivant permettent de comparer l'ancien et le nouveau mode d'éclairage, et

font ressortir les avantages que présente l'emploi de l'huile minérale en France, au double point de vue des intérêts nautiques et de ceux du Trésor public.

		1er ORDRE.	2e ORDRE.	3e ORDRE.	4e ORDRE.	5e ORDRE.	TOTAL.
Nombre de feux		42	6	31	33	254	
Consommation d'huile minérale	par lampe et par heure	1k,000	0k,645	0k,370	0k,175	0k,055	
	pour tous les feux et par an (4,000 heures)	168,000k	15,480k	45,880k	23,100k	55,880k	308,340k
Dépense d'huile minérale à 0f,79 le kilog.		.....	.....	.....	.....	.....	243,589f
Consommation d'huile de colza	par lampe et par heure	0k,760	0k,500	0k,175	0k,110	0k,060	
	pour tous les feux et par an	127,680k	12,000k	21,700k	14,520k	60,960k	236,860k
Dépense d'huile de colza à 1f,51 le kilog. (prix moyen)		.....	.....	.....	.....	.....	357,659f
Intensité avec huile minérale	par lampe	36	24	14,3	6,9	2,2	
	totale	1512	144	443,3	227,7	558,8	2885,8
Intensité avec huile de colza	par lampe	23	15	5	3	1,6	
	totale	966	90	155	99	406,4	1716,4

Ainsi la dépense, qui est de 243,000 francs avec l'huile minérale, s'élèverait à 357,000 francs si l'on employait de l'huile de colza; elle a donc diminué dans le rapport de 1 à 0,68, c'est-à-dire de près d'un tiers. D'un autre côté, la somme des intensités lumineuses que donnent les lampes à huile minérale est de 2885 becs, tandis qu'elle ne serait que de 1716 becs avec l'huile de colza. L'intensité totale obtenue a donc augmenté dans le rapport de 1 à 1,68, soit de plus des deux tiers. L'avan-

tage économique total de l'huile minérale est représenté par $\frac{1,68}{0,68} = 2,5$, c'est-à-dire que, pour la même dépense, on obtient deux fois et demie autant de lumière.

Il faut d'ailleurs remarquer que les diamètres des becs de chaque ordre ayant été augmentés, la divergence horizontale et, par suite, la durée d'apparition des éclats lumineux dans les feux tournants est plus grande qu'auparavant. Cette augmentation est de plus d'un cinquième dans les deux premiers ordres et de plus de moitié dans le troisième ordre.

Une petite lampe à huile minérale, à mèche circulaire de $0^m,015$ de diamètre, brûlant 20 grammes d'huile par heure et donnant une intensité de près de deux tiers de bec, est destinée au service des gardiens, et est employée dans un très-petit nombre de fanaux qui n'ont pas besoin d'avoir une grande portée.

Deux des becs exposés proviennent des ateliers de MM. Barbier et Fenestre; deux autres proviennent de ceux de MM. Henry-Lepaute; les lampes et les becs à une et à deux mèches ont été fabriqués par M. Luchaire.

A côté des lampes et des becs qui viennent d'être décrits, se trouvent une série des sept cheminées blanches qui leur correspondent et les diverses cheminées colorées, en usage dans le service des phares.

Les instruments destinés à vérifier les huiles minérales sont réunis dans une boîte. Ils se composent de deux densimètres, d'un appareil avec lampe à alcool pour chauffer au bain-marie l'huile qu'on veut éprouver, et d'un thermomètre que l'on plonge dans cette huile. Une petite

lucerne, qu'on allume au-dessus de l'orifice par lequel sortent les vapeurs de l'huile, fait reconnaître à quel moment ces vapeurs sont inflammables, et le thermomètre indique quelle est à ce moment la température de l'huile. Ces instruments sont fournis par M. Luchaire.

Le bidon à bascule employé pour huile minérale a la forme cylindrique, et est mobile autour d'un axe passant à peu près par son milieu; il se tient ordinairement dans la position verticale; son fond supérieur est un peu conique et permet de le remplir facilement; lorsqu'on veut y prendre de l'huile on l'incline et on ouvre le robinet ainsi que le trou d'air supérieur. On le relève ensuite verticalement, et l'on est sûr de ne pas avoir de suintement par les robinets qui se trouvent alors à la partie supérieure. Ce bidon est fabriqué par MM. Barbier et Fenestre.

L

BOUÉES ET BALISES.

Modèles.

Bouées ordinaires. — La plupart des bouées de notre littoral maritime ont été établies suivant l'un ou l'autre des types portant les n°s 1 à 5. Les quatre premiers numéros représentent des bouées de balisage, le cinquième appartient à une bouée d'amarrage.

Les bouées en tôle sont plus dispendieuses que les bouées en bois, en ce qui est des frais de premier établissement; mais elles sont plus durables, leur entretien est moins onéreux, et elles se prêtent mieux aux formes les plus diverses.

On a adopté la forme sphérique pour la partie immergée des bouées de balisage parce que c'est celle qui, à surface égale, enveloppe le plus grand volume et réduit, par conséquent, à un minimum la surface inutile à la visibilité. En outre, le flotteur est stable, pourvu que son centre de gravité soit un peu au-dessous de celui de la sphère, et il est facile de satisfaire à cette condition au moyen d'un lest convenablement calculé. Enfin, la forme sphérique offre moins de résistance à l'action des vagues que la plupart de celles auxquelles on pourrait être tenté de s'arrêter, et elle est facile à exécuter dans toutes les grandes usines.

La partie supérieure de la bouée est en forme de cône tronqué, et le sommet du cône est remplacé par un voyant dont les dispositions varient. L'objet de cet appendice est d'augmenter la portée, et surtout de donner à la bouée un caractère distinctif qui vient s'ajouter à ceux que déterminent les couleurs et les inscriptions.

Le corps de la bouée est divisé en deux parties par une cloison étanche, de manière à ne pas couler lors même qu'il serait crevé par un choc ou donnerait lieu à quelques infiltrations. Un tuyau vertical, fermé par un tampon taraudé à sa partie supérieure, permet de vider à la pompe l'eau qui s'introduirait dans le compartiment inférieur. Deux trous d'homme sont pratiqués sur la bouée, l'un au sommet, l'autre dans la cloison étanche.

L'organeau auquel se fixe la chaîne de retenue est pris dans la même masse de fer forgé que le culot, en forme de calotte sphérique, sur lequel se rivent les feuilles de tôle de la partie inférieure.

Le lest est en fonte et il se compose de plusieurs plateaux amovibles qui sont boulonnés de manière à être solidement maintenus. Il ne dépasse pas 750 kilogrammes dans les plus fortes bouées. On le réduit, suivant que la profondeur d'eau est plus grande et le courant moins fort. Quand il a été convenablement réglé, la bouée se maintient sensiblement verticale dans les circonstances de mer les plus habituelles, et ne s'incline guère qu'à 45° sous les plus fortes actions des vents et des courants.

Une ceinture en bois d'orme entoure la bouée à hauteur de son plus grand diamètre, qui est à peu près au niveau de la ligne de flottaison. Elle est destinée à garantir

le coffre des chocs de corps flottants et de ceux qui peuvent se produire dans les transports.

Les formes les plus habituelles des voyants sont celles de la sphère, de cônes simples ou doubles à génératrices droites ou courbes, et de rectangles ou de triangles pleins ou diversement évidés se croisant à angle droit.

Le système d'ancrage le plus habituellement employé pour ces bouées consiste en un corps mort en fonte dont le poids varie avec la force de la bouée, la nature du fond et la violence des courants. On est descendu à 300 kilogrammes pour de petites bouées mouillées sur fond de sable et l'on a dû s'élever jusqu'à 3,000 kilogrammes sur quelques points. Ces corps morts s'exécutent en fonte, sous forme de culots, avec la face inférieure légèrement creusée de manière à être plus adhérente sur les fonds de sable; les uns sont établis sur plan carré, les autres sur plan circulaire. En quelques circonstances, surtout pour les plus fortes bouées mouillées sur fond de roche, on leur a donné la forme d'ancre à champignon. On a recours à l'affourchage sur deux ancres à une patte quand il y a intérêt à réduire autant que possible le cercle d'évitage du flotteur, ou quand la bouée est mouillée sur fond de roche par de très-forts courants. Enfin, dans le bassin de Saint-Nazaire, dont le plafond est formé par une aire de béton que recouvre une légère couche de vase déposée par le fleuve et où il était essentiel d'éviter toute saillie prononcée, on a adopté des corps morts en fonte très-plats pour maintenir les bouées d'amarrage; des boucles latérales permettent de les soulever quand on veut les changer de place. Leur poids est évalué à 5,350 kilogrammes.

Une partie de chaîne de 2 à 8 mètres de longueur, suivant les circonstances, est fixée à demeure à la bouée et, au moyen d'une manille, au reste de la chaîne. Le boulon de la manille est elliptique et est maintenu par une ou deux goupilles coniques dont la tête est recouverte de plomb. On n'admet plus d'émérillon, organe inutile quand le flotteur a la forme d'un solide de révolution, et qui avait donné lieu à des accidents.

Les modèles exposés ont été établis par M. Luchaire, ferblantier-lampiste du service des phares.

N° 1. *Bouée à cloche.* — Le coffre de cette bouée est surmonté d'une armature en fer sur laquelle sont fixées des lattes en bois de $0^m,01$ d'épaisseur, qu'enveloppe une feuille de tôle à leur partie supérieure. Dans l'intérieur de l'armature est une cloche en bronze avec marteaux mobiles, et le sommet est couronné par un voyant au-dessus duquel s'élève un prisme triangulaire garni de miroirs. L'enveloppe ne descend pas jusqu'au pied des montants, afin de laisser libre passage aux lames qui viennent déferler sur le coffre. Les miroirs ont pour objet de renvoyer par réflexion les rayons émanés du soleil ou des phares voisins. Ils sont encadrés en bronze.

Le coffre de la bouée a $2^m,43$ de diamètre sur $1^m,70$ de hauteur.

Le sommet du prisme de miroirs domine de 4 mètres environ la ligne de flottaison.

La tôle de la partie inférieure a $0^m,009$ d'épaisseur: celle de la partie supérieure et de la cloison étanche n'a que $0^m,005$. Le lest est du poids de 500 kilogrammes lorsque

la longueur de chaîne ne dépasse pas 10 mètres. La ligne de flottaison est alors à $0^m,12$ environ au-dessus de l'arête inférieure de la ceinture en bois.

La chaîne d'amarrage est exécutée en fer de $0^m,034$. Elle pèse 25 kilogrammes par mètre hors de l'eau.

Le poids moyen des bouées de cette espèce peut être évalué à 2,200 kilogrammes avec manille, le lest non compris.

Elles coûtent environ 2,300 francs, savoir :

Tôles et fers, 1,896 kilogrammes à $0^f,90$.....	$1,706^f,40$
Fonte pour lest, 500 kilogrammes à $0^f,25$.....	125,00
Bronze pour cloche, armature de miroirs, collet de pompe, 54 kilogrammes à $5^f,50$.....	297,00
Ceinture en bois et lattes.....	90,00
Peinture, etc.....	81,60
	$2,300^f,00$

N° 2. *Bouée ordinaire.* — Cette bouée a $2^m,38$ de diamètre sur $3^m,20$ de hauteur de coffre. Le sommet de son voyant domine de 4 mètres environ la ligne de flottaison.

La tôle de la partie inférieure a $0^m,009$ d'épaisseur; celle de la partie conique et de la cloison étanche est réduite à $0^m,005$. Le lest est représenté complet. Il place la ligne de flottaison à $1^m,15$ au-dessus du centre de l'organeau ou à $0^m,13$ au-dessus de l'arête inférieure de la ceinture en bois, quand il y a 10 mètres de chaîne flottante.

La chaîne d'amarrage est exécutée en fer de $0^m,034$.

Le poids moyen de cette bouée est de 2,000 kilogrammes

environ, le lest non compris, mais avec la manille. Elle coûte près de 2,000 francs, savoir :

1,840 kilogrammes de tôle et fers, à 0f,90.....	1,656f,00
750 kilogrammes de lest en fonte, à 0f,25.....	187,50
4kg,20 de bronze pour collet de la pompe et tube à air à 5f,50.....	23,10
Ceinture en bois.....	40,00
Peinture, etc.....	70,00
	1,976f,60

Cette bouée est désignée dans le service des phares sous le nom de *bouée ordinaire* n° 1.

N° 3. Une bouée de même forme, mais de dimensions moindres, qui n'a que 1m,82 de diamètre sur 2m,50 de hauteur de coffre, porte dans ce service le n° 2. Son enveloppe en tôle a 0m,007 d'épaisseur dans la partie sphérique et 0m,004 au-dessus.

Le lest complet est du poids de 150 kilogrammes. La chaîne d'amarrage est en fer de 0m,030, et pèse 20 kilogrammes par mètre. Une de ces bouées coûte environ 1,000 francs, savoir :

990 kilogrammes de tôle et de fer, à 0f,90.....	891f,00
150 kilogrammes de fonte pour lest, à 0f,25.....	37,50
4kg,20 de bronze.....	23,10
Ceinture en bois.....	30,00
Peinture, etc.....	38,40
	1,020f,00

N° 4. *Petite bouée.* — Cette bouée est employée partout où il n'est pas nécessaire d'avoir une forme très-apparente et où la profondeur d'eau n'est pas grande. Elle a 1m,50 de diamètre sur 2 mètres de longueur, ne porte pas de

voyant, et est exécutée en tôle de $0^m,006$ par le bas et de $0^m,004$ par le haut. Elle n'a pas de lest. La ligne de flottaison est à $0^m,76$ au-dessus du centre de l'organeau, quand il y a 10 mètres de chaîne, et elle s'élève de $0^m,005$ environ par mètre de chaîne suspendue, tant qu'on se maintient dans les limites convenables. La chaîne est en fer de $0^m,025$, et pèse 14 kilogrammes par mètre hors de l'eau et 12 kilogrammes environ dans l'eau.

Il y a un trou d'homme sur la partie conique de la bouée et un autre sur la cloison étanche, laquelle est placée à hauteur de la ceinture.

Une de ces bouées pèse 540 kilogrammes et coûte environ 500 francs, manille comprise.

N° 5. *Bouée d'amarrage.* — Cette bouée a été exécutée sur diverses dimensions; celle que représente le modèle a $1^m,80$ de diamètre et autant de hauteur totale. Elle est formée de tôle de $0^m,006$; la tige de traction a $0^m,06$ de diamètre, et le tube qu'elle traverse n'a que $0^m,08$ d'ouverture; elle est saisie à sa partie supérieure par un écrou portant organeau, qui s'appuie sur la bouée et presse le collet du bas contre le pied de cet ouvrage. Il n'y a pas de cloison étanche, et le trou d'homme est ouvert dans la partie immergée, afin d'être soustrait au choc des embarcations.

La chaîne flottante est à mailles courtes en fer de $0^m,032$.

Le poids d'une bouée de ce genre peut être évalué à 775 kilogrammes, et son prix à 600 francs.

Bouée-bateau. — Les bouées en forme de bateau ont l'avantage d'offrir moins de prise au courant que les autres

et de se mieux prêter au remorquage. Elles ont l'inconvénient d'être plus dispendieuses. On ne les admet que sur les points où les courants sont très-forts et où il est nécessaire d'avoir un signal très-apparent.

La bouée que représente le modèle a été exécutée en 1861, sur les dessins de M. l'ingénieur Lefebme, par MM. Jollet et Babin, constructeurs à Nantes, et signale depuis cette époque le banc de la Lambarde, à l'embouchure de la Loire. Elle a $5^m,35$ de longueur, $3^m,25$ dans sa plus grande largeur et $1^m,50$ de creux. Son sommet s'élève à plus de 5 mètres au-dessus du niveau de la mer. Les tôles ont $0^m,008$ d'épaisseur dans le fond et au pourtour, et $0^m,005$ à la partie supérieure; elles sont assemblées à clins et rivetées sur une membrure très-légère formée de cornières de $0^m,05$ espacées de $0^m,625$. Une cloison étanche, perpendiculaire à l'axe longitudinal, divise le flotteur en deux compartiments indépendants. Une feuille de tôle épaisse de $0^m,020$, fixée verticalement suivant le même axe, au moyen de bandes formant cornières de chaque côté, constitue un puissant gouvernail, qui a pour but de ramener constamment la bouée debout à la lame. Un anneau à l'avant pour recevoir une haussière de halage et quatre poignées établies de chaque côté, pour permettre au besoin à des naufragés de se réfugier sur la bouée, complètent le flotteur. Il n'y a aucun lest.

Ce flotteur porte une armature formée principalement de huit montants en fer forgé de $0^m,042$ sur $0^m,022$ qui se courbent avant de se réunir, pour soutenir, au-dessous de leur point de jonction, l'anse d'une cloche en bronze pesant 70 kilogrammes et, au-dessus, la tige d'un ballon

de 1 mètre de diamètre, surmonté lui-même d'un miroir à six pans, dont le sommet se trouve établi à $4^m,60$ du flotteur. Des bandes en tôle mince, de $0^m,0015$, enveloppent les montants, sur lesquels elles sont rivetées, afin de rendre l'ensemble plus apparent et de faire place à l'inscription réglementaire.

Pour fixer la chaîne d'amarrage, qui est exécutée en fer de $0^m,040$, un œil est ouvert sous le flotteur dans la triple épaisseur du gouvernail et des cornières de jonction, un peu sur l'avant, mais assez près du prolongement de l'axe de l'armature, qui est lui-même perpendiculaire aux lignes d'eau, pour que, à raison du poids de la chaîne, l'inclinaison de cette armature ne varie que très-peu avec la hauteur de la marée. Cet œil, garni d'une bague en acier, reçoit le boulon, avec écrou et goupille rivée à chaud, d'une menotte suivie d'un nabot, puis d'un bout de chaîne de 7 mètres de longueur en fer de $0^m,040$. Ce bout de chaîne est considéré comme faisant partie de la bouée, à laquelle il est fixé à terre et qu'il doit toujours accompagner. Il porte à sa partie inférieure une menotte qui se maille elle-même sur l'itague. Le boulon de cette dernière menotte est elliptique, sans saillies et simplement maintenu par deux goupilles coniques dont la tête, noyée d'un centimètre, est recouverte de plomb chassé d'un coup de masse dans une cavité en forme de tronc de cône renversé. Ce système d'amarrage, combiné de façon à pouvoir placer ou changer la bouée rapidement et sans difficultés, même par d'assez grosses mers, est le seul d'ailleurs qui, dans une expérience de plusieurs années, n'ait jamais manqué.

La bouée pèse, tout compris, 4,665 kilogrammes et a coûté, à raison de $1^{f},10$ le kilogramme de fer, $5,131^{f},50$.

Bouée-balise. — Plusieurs des écueils placés sur le littoral du Morbihan sont signalés par des bouées conçues dans un tout autre système. Ces bouées ont le mérite d'être peu dispendieuses et d'être faciles à remorquer; elles conviennent très-bien sur tous les points où il n'est pas nécessaire d'avoir un signal susceptible d'être vu à grande distance.

La partie immergée du flotteur a la forme d'un cône renversé de $1^{m},35$ de diamètre et $2^{m},16$ de hauteur, terminé par un culot en fonte réuni à la tôle au moyen d'une frette en fer forgé. Ce culot est traversé par une tige en fer carré de $0^{m},04$, dont l'extrémité porte une menotte qui reçoit la chaîne, laquelle est exécutée en fer de $0^{m},03$.

Le cône inférieur est réuni par une partie cylindrique de $0^{m},25$ de hauteur à un tronc de cône, lequel est assemblé à sa base supérieure avec un autre tronc de cône de forme allongée, qui constitue le voyant de la bouée. Ces deux parties sont réunies au moyen de deux cornières entre lesquelles est placée une cloison de séparation; deux rondelles en caoutchouc en assurent l'étanchéité. Les cornières sont réunies par des boulons, ce qui permet de séparer facilement le voyant de la bouée proprement dite, quand on veut visiter celle-ci.

Un trou pour vider l'eau, lequel est fermé par une cheville en bois, est ménagé dans la partie inférieure de la bouée; deux poignées de sauvetage sont en outre établies sur ses côtés.

L'épaisseur des tôles est, pour la partie inférieure, de $0^m,005$, et pour la partie supérieure ou voyant, de $0^m,004$.

La bouée a une hauteur totale de 6 mètres et s'élève de $3^m,90$ au-dessus de l'eau. Son diamètre maximum, à la ligne de flottaison, est de $1^m,35$; le diamètre du voyant est, à la base, de $0^m,57$, et au sommet, de $0^m,34$.

Cette bouée pèse 800 kilogrammes et a coûté 880 fr.

Elle a été imaginée par M. Gouëzel, conducteur des ponts et chaussées à Belle-Ile.

Balise d'Antioche. — Le rocher d'Antioche est un écueil très-dangereux situé dans le pertuis qui sépare les îles de Ré et d'Oléron, à un mille environ nord-nord-est de la pointe de Chassiron.

De 1811 à 1856, dix-neuf navires, y compris une corvette de l'État, ont touché et fait naufrage sur cet écueil, qui n'était signalé que par une simple balise en fer, souvent renversée par la mer et par les abordages, et qui n'était pas d'ailleurs suffisamment apparente. La balise actuelle a eu pour but de remédier à l'insuffisance de la balise ancienne.

Les abords du rocher étant presque toujours difficiles, la construction d'une balise en maçonnerie eût été très-longue et très-coûteuse; ces motifs firent prendre la détermination de recourir à une charpente en fer.

La balise consiste en quatre montants en fer rond de $0^m,14$ de diamètre, dirigés suivant les arêtes d'un tronc de pyramide quadrangulaire, et reliés solidement entre eux ainsi qu'à un pieu central en fer également rond ayant $0^m,10$ de diamètre.

Les montants formant les angles de la pyramide sont

espacés de $4^m,86$ d'axe en axe à la partie inférieure, et de $2^m,50$ à la partie supérieure qui se trouve à 7 mètres au-dessus du rocher.

Cet ensemble, qui constitue la base de la balise, est surmonté d'une construction du même genre, de forme carrée et ayant 3 mètres de hauteur.

Enfin, le tout est terminé par une pyramide de $2^m,50$ de hauteur couronnée par une sphère de $1^m,30$ de diamètre.

Toute la partie supérieure de la balise est garnie de feuilles de tôle posées à claire-voie dans le but de rendre l'édifice plus apparent.

Le rocher d'Antioche étant composé d'un calcaire jurassique de résistance insuffisante pour maintenir le pied des montants, on les a fixés au moyen de coins, dans des manchons en fonte scellés eux-mêmes dans le rocher à l'aide de maçonnerie en ciment.

Le sommet de la balise s'élève à $13^m,80$ au-dessus du rocher et à $10^m,47$ au-dessus des plus hautes mers.

Le pieu central porte des échelons qui montent jusqu'à la base de la pyramide où l'on a établi un plancher destiné à servir de refuge aux naufragés.

Les dépenses se sont élevées à $20,947^f,90$, répartis ainsi qu'il suit :

13,434 kilogrammes de fer forgé à $0^f,95$ l'un, y compris peinture au minium, montage et démontage à l'usine et transport dans un port de l'île d'Oléron	$12,762^f,30$
1,976 kilogrammes de fonte à $0^f,60$ tout compris.	1,185 ,60
Façon des trous de scellement, mise en place et dépenses diverses	7,000 ,00
Total égal	$20,947^f,90$

Le projet a été rédigé et exécuté par M. de Beaucé, ingénieur ordinaire, sous la direction de M. Leclerc, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

La plupart des balises importantes des côtes de France sont exécutées en maçonnerie de moellons bruts et mortier de Portland.

SIXIÈME SECTION.

ÉLÉVATION

ET DISTRIBUTION DES EAUX.

LI

AQUEDUC DE ROQUEFAVOUR,

SUR L'ARC.

(CANAL DE LA DURANCE À MARSEILLE.)

Modèle des quatre premières arcades (rive gauche) — à l'échelle de $0^m,04$ (un vingt-cinquième).

Modèle représentant le détail des divers engins et appareils employés dans la construction — à l'échelle de $0^m,10$ (un dixième).

Dessin de l'ensemble — à l'échelle de $0^m,005$.

La longueur de cet aqueduc, construit pour le canal de la Durance à Marseille, est de 393 mètres, sa hauteur maxima au-dessus de la base des socles, de $82^m,65$; sa largeur au sommet, de $4^m,50$; il est à trois étages de voûtes : le premier comprend douze arches de 15 mètres d'ouverture; le deuxième, quinze arches de 16 mètres; le troisième, cinquante-trois petites arches de 5 mètres.

La hauteur de l'étage inférieur, de la base du socle à la première plate-forme, est de	$34^m,10$
Celle de l'étage intermédiaire, d'une plate-forme à l'autre	37 ,60
Celle de l'étage supérieur, de la 2e plate-forme au sommet du parapet	10 ,95

Les piles sont armées de contre-forts dont elles excèdent la largeur de $1^m,60$ dans l'étage moyen, et de 2 mètres dans l'étage inférieur; ces contre-forts règnent depuis le socle jusque sous la plinthe qui couronne l'étage supérieur; ils ont 3 mètres de largeur, dans la hauteur de cet étage; leur saillie est de $0^m,25$ sous la plinthe et de $0^m,65$ aux naissances des secondes voûtes.

Les piles ont un fruit de $0^m,005$ par mètre dans l'étage moyen, de $0^m,015$ dans l'étage inférieur; elles ont 5 mètres d'épaisseur aux naissances des voûtes du deuxième étage, 6 mètres aux naissances du premier, $6^m,57$ au sommet du socle, $7^m,20$ dans la hauteur du socle; leur longueur est uniformément de $4^m,85$ dans l'étage moyen, de $5^m,50$ dans l'étage inférieur. La saillie des contre-forts, dans le sens normal à l'axe du viaduc, va en croissant du sommet à la base; ils ont, dans ce sens, un fruit de $0^m,04$ par mètre du sommet à la deuxième plate-forme, de $0^m,06$ entre les deux plates-formes, de $0^m,08$ de la première plate-forme à la base.

Les dimensions des piles et contre-forts se trouvent, par suite, ainsi fixées :

(*Voir le tableau ci-après.*)

	LARGEURS		LONGUEURS	
	de la pile.	des contre-forts.	de la pile.	de la pile et des deux contre-forts.
Au niveau des naissances du 2e étage de voûtes	5m,00	3m,00	4m,50	5m,80
Sous le cordon de 0m,90 établi à ce niveau	5 ,00	3 ,40	4 ,85	5 ,91
Au niveau de la 1re plate-forme	5 ,25	3 ,65	4 ,85	"
Au niveau des naissances du 1er étage de voûtes	"	3 ,75	4 ,90	10 ,20
Sous le cordon de 1 mètre régnant à ce niveau	6 ,00	4 ,00	5 ,50	10 ,56
Au niveau du socle	6 ,57	4 ,57	5 ,50	13 ,60
Sur la hauteur du socle	7 ,20	5 ,20	6 ,10	14 ,20

Les grandes voûtes ont 1 mètre d'épaisseur à la clef, et les petites voûtes supérieures 1m,05; les piliers de ces dernières ont 4 mètres de hauteur, cordon compris, 2 mètres d'épaisseur aux naissances, 2m,05 à la base; la largeur de l'étage supérieur, entre les têtes, est de 4m,50.

La cuvette, maçonnée en briques, a 2 mètres de largeur au plafond, 2m,30 en gueule et 2m,40 de hauteur: elle a une pente de 0m,006 par mètre.

Une petite galerie, en plein cintre, de 3m,30 d'ouverture, établie immédiatement au-dessus de l'extrados des premières voûtes et au-dessous de la première plate-forme, permet de parcourir l'ouvrage à ce niveau soit dans la galerie, soit sur la plate-forme, à l'aide d'ouvertures de 1 mètre sur 2 mètres, pratiquées dans les piles. Une galerie analogue, non voûtée, de 1 mètre sur 2m,50, est

aussi établie au-dessus du deuxième rang d'arches et comprise entre leur extrados et le niveau de la deuxième plate-forme.

Pour le bardage des matériaux, on avait installé aux quatre angles de chaque pile des poteaux reposant sur deux poutres horizontales assises sur des corbeaux étagés de 3 en 3 mètres dans la hauteur de la pile. Ces poteaux supportaient un échafaud auquel ils étaient reliés par un système de moises, de tirants et de contre-fiches, et sur les poutres supérieures duquel roulait une grue mobile capable de supporter des blocs de 6 mètres cubes pesant jusqu'à 15 tonnes. Au fur et à mesure qu'une pile était élevée de 3 mètres, il fallait soulever de toutes pièces l'échafaud, ses supports et la grue : quatre crics, pourvus de vis de $4^{m},50$ de hauteur et placés aux angles de la pile, permettaient d'opérer simplement et sûrement cette manœuvre en moins de quatre heures, y compris l'installation des vis, dont chacune pesait plus de 2 tonnes.

Toutes les piles en construction étaient reliées par un chemin de fer continu supporté par une série de ponts de service jetés entre elles. Ces ponts se relevaient facilement de manière à suivre l'exhaussement des maçonneries. Deux autres voies de service furent établies, l'une au niveau du passage ménagé dans les piles, l'autre à 2 mètres environ au-dessus; elles consistaient en deux poutres jetées d'une pile à l'autre et consolidées par des contre-fiches et des poteaux verticaux reposant sur le sommet des cintres. Ces dispositions ont permis de continuer la construction des piles en travaillant à l'établissement des voûtes, chacune

de ces parties de l'ouvrage ayant ses appareils de levage, ses voies, ses ateliers, etc., indépendants. C'est ainsi qu'on a pu exécuter jusqu'à 2,000 mètres cubes environ de maçonnerie par mois, en élevant des blocs de 8,000 kilogrammes jusqu'à 70 mètres de hauteur.

Toutes les piles sont construites en pierre de taille; les lits et le périmètre des faces verticales sont seuls taillés, l'ensemble de chaque face vue restant brut. Le cube total des maçonneries est de 66,650 mètres cubes environ, dont plus de 50,000 mètres cubes en pierre de taille.

La pression, à la base des piles, est de $14^{kg},68$ par centimètre carré.

La dépense, presque entièrement effectuée en régie, s'est élevée à 3,700,000 francs, environ 177 francs par mètre carré d'élévation.

Cet ouvrage a été projeté et construit, de 1841 à 1847, par M. DE MONTRICHER, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

LII

BARRAGE ET RÉSERVOIR DU FURENS,

POUR L'ALIMENTATION DE LA VILLE DE SAINT-ÉTIENNE.

Modèle du barrage à l'échelle de $0^m,01$ (un centième).
Modèle représentant une coupe des deux tunnels avec leurs têtes
et leurs appareils de manœuvre,
à l'échelle de $0^m,03$ (un trente-troisième).

Les eaux de la vallée du Furens, dans laquelle se trouve la ville de Saint-Étienne, servent à divers usages. D'abord, un aqueduc souterrain va les chercher près de leurs sources et les conduit dans la ville, qu'elles alimentent, mais d'une manière insuffisante pour assurer l'arrosage des rues et le lavage des égouts; cette insuffisance s'élève à 600,000 mètres cubes par an, environ. En second lieu, le Furens sert à mettre en jeu un certain nombre d'usines qui exigent un débit de 350 litres par seconde, tandis que le débit du cours d'eau n'est que de 80 à 100 litres pendant les étés secs, et ne dépasse pas, comme moyenne annuelle, 500 litres. Enfin, le Furens peut occasionner, rarement, il est vrai, l'inondation de la ville de Saint-Étienne; son débit, dans les crues, ne dépasse pas 15 mètres cubes par seconde; mais une trombe ayant éclaté dans la partie supérieure de la vallée en 1849, il en est résulté un débit anomal qui a atteint le chiffre énorme de 131 mètres cubes, l'inondation de la ville commençant au débit de 93 mètres cubes.

Les ouvrages exécutés avaient dès lors un triple but : 1° préserver la ville contre les inondations en cas de reproduction des phénomènes de 1849; 2° donner à la distribution d'eau de Saint-Étienne un supplément de 600,000 mètres cubes par an; 3° assurer le jeu régulier des usines dans les conditions préexistantes et maintenir, autant que possible, à cet effet, un débit de 350 litres par seconde.

Ce but complexe a été atteint par la construction d'un barrage en maçonnerie de 50 mètres de hauteur, créant un vaste réservoir en un point rétréci de la vallée du Furens, dit *le Gouffre d'Enfer*. Ce réservoir ayant absorbé une partie de l'ancien lit, on en a ouvert un nouveau, capable de débiter 100 litres par seconde, sous le nom de canal de dérivation, qui contourne le réservoir et va rejoindre l'ancien lit en aval du barrage.

La capacité du réservoir est de 1,200,000 mètres cubes depuis le fond jusqu'à 44^{m},50 de hauteur, et de 1,600,000 mètres cubes jusqu'à 50 mètres; il en résulte que la tranche d'eau supérieure, de 5^{m},50 de hauteur, représente un volume de 400,000 mètres cubes entre les cotes 44^{m},50 et 50 mètres. Or, on a constaté que la partie du volume total de la crue de 1849, qui correspond à des débits excédant 93 mètres cubes par seconde, était de 200,000 mètres cubes; si donc on a le soin de ne jamais dépasser 44^{m},50 pour la hauteur de la retenue, on pourra emmagasiner, dans la partie supérieure réservée au service des inondations, un volume d'eau double de la partie nuisible d'une trombe comme celle de 1849. La crue passée et le débit redevenu inférieur à 93 mètres cubes,

on vide par un aqueduc souterrain toutes les eaux excédant la cote $44^m,50$, à laquelle est établi le radier de cet aqueduc, qui se déverse dans le nouveau lit du Furens.

Quant aux 1,200,000 mètres cubes que peut contenir le réservoir au-dessous de la cote $44^m,50$, ils constituent une réserve qui se forme pendant que le débit du Furens excède 350 litres, et que la ville de Saint-Étienne a le droit d'utiliser soit pour sa consommation, soit pour améliorer le service des usines, lorsque ce débit devient inférieur à 350 litres. A cet effet, un second tunnel, pourvu de deux conduites en fonte, de $0^m,40$ de diamètre, et percé dans le rocher, prend l'eau au niveau du fond du réservoir et la conduit dans un puisard au moyen de robinets qu'on manœuvre de façon à modifier à volonté leur débit et à réglementer le double service de la ville et des usines. Ce puisard communique, d'une part, avec le nouveau lit du Furens, dans lequel une vanne modératrice permet de jeter un volume d'eau déterminé, de l'autre, avec la conduite des eaux de Saint-Étienne, où il peut introduire de même la quantité convenable des eaux de réserve. Ces dispositions permettent de tirer du réservoir telle quantité d'eau qu'on voudra pour l'utiliser au profit de la ville de Saint-Étienne par sa conduite propre, et des usines par le lit du Furens.

Enfin, en amont du réservoir et de l'origine du canal de dérivation, on a établi un petit barrage de 12 mètres de longueur et de 5 mètres de hauteur, percé de dix ouvertures de $1^m,50$ de largeur, que l'on ferme chacune par une vanne métallique. En aval, le lit du Furens est divisé

en deux parties alimentées chacune par cinq de ces vannes, pouvant débiter ensemble 100 mètres cubes, et qui conduisent les eaux, l'une, celle de droite, vers le canal de dérivation, l'autre, celle de gauche, vers le réservoir; des repères placés en amont du barrage indiquent les hauteurs d'eau qui correspondent aux débits de 350 litres et de 93 mètres cubes.

La manœuvre des vannes se déduit simplement de ces dispositions dans tous les cas possibles. En cas de crue anomale, le réservoir fût-il plein jusqu'à la hauteur de 44^{m},50, les vannes du réservoir restent fermées, celles du canal demeurent ouvertes tant que le débit n'excède pas 93 mètres cubes, et toutes les eaux s'écoulent par le lit du Furens; si le débit de 93 mètres cubes est dépassé, ce que le repère annonce sur-le-champ, on ouvre graduellement les vannes de gauche, de manière à maintenir le débit dans le canal à 93 mètres cubes et à ne diriger que l'excédant vers le réservoir, où l'on n'emmagasine que le volume d'eau qui produirait l'inondation de la ville; on fermera de même graduellement ces vannes à mesure que le débit diminuera, et on les fermera complétement lorsque ce débit sera descendu au-dessous de 93 mètres cubes; l'inondation de la ville sera donc évitée.

Pendant les basses eaux, tant que le débit est inférieur à 350 litres, les vannes du réservoir restent fermées; si le débit vient à dépasser 350 litres, ce dont on est averti par le second repère, on manœuvre les vannes de manière à maintenir le débit à 350 litres seulement dans le canal et à diriger vers le réservoir, pour y constituer la réserve, toute la partie du débit excédant 350 litres. On

ne prend donc au Furens que les excédants non nécessaires au service des usines, et la réserve ainsi créée est restituée par le souterrain inférieur et avec la modération convenable soit à la ville, soit aux usines, lorsque le débit descend à 100 ou 80 litres.

La réserve de 1,200,000^{mc} pouvant se renouveler deux fois par an et le service supplémentaire de la ville de Saint-Étienne ne pouvant excéder 600,000^{mc}, il reste environ 1,800,000^{mc} à utiliser pour les usines, ce qui correspond à une augmentation de débit du Furens de 120 litres par seconde pendant six mois de l'année.

Le barrage a 50 mètres de hauteur, 5^{m},70 d'épaisseur en couronne, et 49^{m},04 au fond de la vallée; en plan, il est tracé suivant un arc de cercle ayant 100 mètres de corde, 5 mètres de flèche et 252^{m},50 de rayon. Les deux parements sont continus et à peu près conformes au type théorique à pression uniforme étudié par M. l'ingénieur ordinaire Delocre; ils diffèrent de ce type, d'une part, en ce qu'on a substitué des profils courbes aux profils polygonaux, de l'autre, en ce que l'épaisseur a été sensiblement augmentée dans la partie supérieure et un peu diminuée dans le bas; ces modifications sont dues à la crainte qu'inspirait, dans un réservoir situé à 800 mètres d'altitude, l'action des vagues, et surtout des glaces, dont l'épaisseur peut atteindre 0^{m},50.

Voici, du reste, les épaisseurs à diverses hauteurs, ainsi que les pressions maxima, à vide et à charge.

HAUTEUR au-dessous du couronnement.	ÉPAISSEUR du BARRAGE.	PRESSIONS MAXIMA, LE RÉSERVOIR ÉTANT	
		vide.	plein.
mètres.	mètres.	kilog.	kilog.
0,00	5,70		
12,00	9,56	2,40	3,20
26,00	18,01	5,10	5,70
32,00	23,49	5,90	6,00
38,00	30,30	6,40	6,30
45,00	39,70		6,30
50,00	49,04	6,00	6,50

Les profils des deux faces une fois déterminés, ainsi que la courbe du couronnement en plan, les surfaces des parements s'ensuivent : ce sont deux surfaces toriques engendrées par la rotation du profil normal autour de la verticale du centre de courbure du couronnement. Le parement d'aval, ainsi construit, a été parsemé d'un certain nombre de pierres de taille en saillie de $0^m,30$, disposées en quinconce et destinées à supporter des échafaudages pour les visites ou réparations à faire dans l'avenir; le parement d'amont a reçu des organeaux disposés de même, pouvant servir soit à fixer des poutrelles à l'aide de cordes, soit à amarrer des bateaux en cas de besoin.

Toutes les maçonneries ont été encastrées dans le roc vif, tant au fond de la vallée que sur ses flancs; on a, à cet effet, enlevé toutes les parties exfoliées ou peu adhérentes et pratiqué à la mine des redans irréguliers dans lesquels le massif du barrage est fortement enraciné. Toutes les maçonneries sont exécutées en moellons, avec

chaux du Theil; on a évité les assises horizontales et lardé le massif de nombreuses et fortes boutisses dirigées dans tous les sens pour faire, autant que possible, du barrage un monolithe; c'est pour n'y tolérer aucune solution de continuité que les deux aqueducs de vidange ont été ouverts en tunnels dans le contre-fort latéral.

Depuis sa mise en eau, le barrage n'a subi aucun mouvement, et les suintements sont restés au-dessous des prévisions.

L'État a contribué pour 570,000 francs aux dépenses de ce travail, et la ville de Saint-Étienne pour 1 million de francs.

Les travaux, commencés en 1861, ont été terminés en 1866. M. l'ingénieur en chef Graeff a dirigé les études et l'exécution, avec le concours de MM. les ingénieurs ordinaires des ponts et chaussées Conte-Grandchamp, qui a dressé l'avant-projet, Delocre, qui a fait les études théoriques d'après lesquelles on a arrêté le profil du barrage, et Montgolfier, qui a été chargé de la construction. (*Annales des ponts et chaussées*, 1866, 2e sem.)

LIII

BARRAGE DU BAN,

CONSTRUIT PAR LA VILLE DE SAINT-CHAMOND

POUR LE SERVICE DE SES FONTAINES.

Dessins à des échelles variant de $0^m,000\,075$ à $0^m,20$.

La ville de Saint-Chamond a fait construire sur le Ban (affluent du Gier) un barrage destiné à emmagasiner, dans un vaste réservoir, les eaux nécessaires à son alimentation municipale et aux besoins industriels.

Cet ouvrage présente une grande analogie avec le barrage du Furens, établi au Gouffre d'Enfer, dont le modèle est exposé. Il n'en diffère que par sa hauteur moindre, sa largeur plus grande et enfin par son épaisseur réduite, la pression ayant été portée à 8 kilogrammes par centimètre carré au lieu de 6 kilogrammes.

Il est également entièrement en maçonnerie ordinaire, sauf les parapets, et il a été construit avec des schistes assez médiocres.

La hauteur des eaux n'est que de 42 mètres, limitée par un déversoir latéral de 30 mètres sur lequel s'écoulent les eaux en excès.

La capacité du réservoir n'a pas encore été régulièrement déterminée; elle est comprise entre 1,700,000 et 2 millions de mètres cubes.

Les eaux sont amenées au moyen d'un tunnel de

60 mètres de longueur pratiqué dans le rocher auquel se rattache une des extrémités du barrage. On y a logé deux tuyaux de $0^{m},40$ de diamètre, encastrés dans la maçonnerie et terminés chacun par deux appareils de sûreté : l'un est une valve que l'on peut fermer de manière à boucher le tuyau, l'autre est un robinet Herdevin. Les tuyaux se suppléent mutuellement. Ils se déversent dans une rigole maçonnée ouverte, d'où on envoie à volonté les eaux à la rivière, ou à un aqueduc maçonné qui les conduit à Saint-Chamond.

Un pont de service a facilité l'exécution des travaux.

Les dépenses se sont élevées à 955,000 francs, sur lesquelles l'État a payé 200,000 francs et la ville de Saint-Chamond 755,000 francs. La ville a employé en outre 450,000 francs aux travaux de l'aqueduc et de la distribution d'eau, soit en tout, *à sa charge,* 1,205,000 fr. Le produit actuel de la vente des eaux (indépendamment des services municipaux qui naturellement sont pourvus gratuitement) dépasse 83,000 francs, sans que l'eau disponible soit entièrement vendue. Les industries de la ville ont d'ailleurs reçu un développement énorme, et, pour ainsi dire, inespéré. Ces eaux sont merveilleusement propres à la teinture, et elles ne produisent pas d'incrustation dans les chaudières; on les utilise en ce moment pour le monte-charge hydraulique d'une usine considérable.

Le succès d'une opération de ce genre, exécutée presque sans le secours de l'État par une ville de second ordre, mérite d'être signalé.

Un seul inconvénient doit être noté : les eaux se

troublent facilement pendant certaines pluies d'orages qui suivent le thalweg des terres supérieures. Le flot boueux se rendait directement aux tuyaux de prise. L'un de ces tuyaux a été muni d'un coude et d'un tuyau vertical qui empêchent cette introduction directe et permettent de puiser à un niveau plus élevé sans mélange avec le fond. Depuis lors l'eau est beaucoup plus satisfaisante. Un travail préventif est en outre projeté à l'amont pour produire l'arrêt des troubles.

De 1866 à 1869, les travaux du barrage du Ban ont été dirigés par M. Graeff, alors ingénieur en chef, aujourd'hui inspecteur général, et de 1869 à 1871, par M. Lagrange, ingénieur en chef, qui lui a succédé.

Les travaux ont été exécutés sous les ordres immédiats de M. Montgolfier, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées.

LIV

MACHINES ÉLÉVATOIRES

POUR

L'ALIMENTATION DU CANAL DE L'AISNE À LA MARNE.

(USINE DE CONDÉ-SUR-MARNE.)

Dessins à des échelles variant de $\frac{1}{320000}$ à $\frac{1}{2}$.

Le canal de l'Aisne à la Marne, qui rattache les voies navigables de l'est de la France à celles du nord et qui met en communication le bassin métallurgique de Saint-Dizier avec les charbonnages du nord de la Belgique, peut être regardé, à cause de l'importance des intérêts qu'il dessert, comme une voie de premier ordre.

Il est à point de partage, et sa longueur de 58 kilomètres est ainsi répartie :

Versant de l'Aisne.....	39,487 mètres.
Bief de partage.....	11,920
Versant de la Marne.....	6,628
Total.....	58,035 mètres.

Il est ouvert sur toute son étendue dans un sol exceptionnellement perméable, appartenant à la formation de la craie blanche, ce qui a nécessité un étanchement général, et il traverse une contrée qui n'offre, à une altitude convenable, que des ressources alimentaires tout à fait insuffisantes; aussi a-t-il fallu, pour fournir en tout temps

le volume d'eau nécessaire à la navigation, aller l'emprunter à la Marne et le monter au bief de partage à l'aide de puissantes machines élévatoires.

Ce volume, variable d'une saison à l'autre, devait, d'après des expériences assez précises et avec la fréquentation d'aujourd'hui, être, pendant une grande partie de l'année, de 600 litres par seconde. Mais pour assurer le service d'une voie de communication aussi importante, pour satisfaire aux besoins toujours croissants d'une navigation active, pour permettre dans un avenir prochain l'augmentation du tirant d'eau, et enfin, pour abréger la durée du remplissage, quand quelques parties devront être mises en vidange, il fallait être en mesure de fournir bien davantage, et le système a été établi pour pouvoir donner par seconde, au bief de partage, 1,200 litres d'eau, qu'on devait élever à une hauteur de 27 à 28 mètres au-dessus du niveau de la Marne, à Condé.

La puissance nécessaire pour produire un aussi considérable travail a été obtenue en tirant de la Marne un volume d'eau suffisant, à l'aide d'une dérivation qui, partant de Châlons, descend vers Condé avec une pente de 10 centimètres par kilomètre, plus faible que celle de la vallée, et permet, après un parcours de 18,368 mètres, d'arriver dans le bassin ménagé en avant de l'usine, à un niveau assez élevé au-dessus de la rivière, pour réaliser une chute qui varie de $6^{m},92$ pendant l'étiage à $3^{m},12$ dans les plus grandes crues.

Les dimensions de cette dérivation la rendent capable de conduire jusqu'à 13 mètres cubes d'eau par seconde, qu'elle prend dans la Marne à l'aide d'un barrage construit

au droit de la ville de Châlons, dans le système Louiche-Desfontaines.

Le niveau de la retenue près de l'usine est réglé par un déversoir composé de plaques verticales de fonte, enfermant un espace dans lequel tombent les eaux de déversement pour s'échapper ensuite par des tuyaux verticaux dont le pied plonge dans une sorte de puisard au niveau du sous-bief, où elles éteignent leur vitesse en tourbillonnements.

Cette disposition nouvelle, qui pourra trouver d'utiles applications, a permis de loger, dans un espace très-resserré auprès de l'usine, un déversoir de 40 mètres de longueur, laissant tomber les eaux d'une hauteur qui dépasse quelquefois 7 mètres.

Le système mécanique élévatoire se compose de cinq turbines Kœchlin, placées en ligne à 10 mètres de distance l'une de l'autre; chaque turbine, par l'intermédiaire d'un pignon et d'une roue d'angle, transmet le mouvement à un arbre horizontal dont l'axe, parallèle à la ligne des turbines, est à $3^{m},50$ en contre-haut du niveau normal de la retenue.

Cet arbre est soutenu par un bâti formé de colonnes en fonte reliées par un entablement et entretoisées par des arcs de même métal.

A droite et à gauche de chacune des trois turbines centrales, sont disposées des pompes verticales à double effet, dont le piston monte et descend sous l'action de bielles qui sont attachées aux boutons des manivelles calées sur les extrémités de l'arbre horizontal de la turbine correspondante. Des arbres de conjugaison placés au même ni-

veau et dans le prolongement des premiers, servent à relier un système au système voisin, et la conjugaison s'établit au moyen d'un embrayage réunissant les boutons des manivelles.

Les turbines extrêmes servent de renfort; elles ne sont pas attelées à des pompes comme les trois intermédiaires; elles ne prennent part au travail que quand la manivelle qui termine leur arbre est embrayée avec le système voisin. A l'aide des liaisons qu'on peut ainsi opérer, il est aisé, tout en surmontant la résistance à peu près constante représentée par la hauteur de l'élévation de l'eau, de mettre toujours les turbines à la vitesse qui, pour la chute variable dont on dispose, convient au maximum du rendement. On s'est, en outre, procuré un autre moyen d'obtenir cette vitesse, c'est de faire varier le travail des résistances, s'il en était besoin, en rendant à volonté chaque pompe à simple ou à double effet, et, pour obtenir ce résultat, il a suffi de placer un vannage sur le tuyau d'aspiration qui correspond à l'une des faces du piston.

Les pompes ont un diamètre de $0^{m},95$ et 1 mètre de course, et peuvent battre sans inconvénient jusqu'à neuf à dix coups à la minute. Elles sont munies de clapets dont la disposition constitue le perfectionnement capital de ces appareils élévatoires.

Ces clapets sont de grandes valves rectangulaires percées de huit ouvertures oblongues sur lesquelles s'appliquent de petits clapets indépendants; ils sont montés sur un axe de rotation horizontal sortant des chapelles par une boîte à étoupe, et portant une petite manivelle dont le bouton reçoit l'action d'une tige à ressort liée par des transmissions

convenables et par un excentrique au mouvement de l'arbre de couche.

L'effet de cette tige, disposée avec des ressorts, de telle sorte qu'elle peut s'allonger et se raccourcir suivant la direction de l'effort qui la sollicite, est d'abord d'agir sur le clapet pour l'obliger à redescendre sur son siége, à mesure que, le piston se ralentissant, le débit devient moindre, et à se fermer au moment où le piston va arriver à l'extrémité de sa course. Bientôt après que le clapet est revenu sur son siége, la tige à ressort cesse d'agir sur le bouton de la petite manivelle; elle change le sens de sa marche et laisse couler, dans la fourchette qui la termine, le bouton qui y glisse à frottement doux jusqu'à ce qu'il en touche le fond. Alors la tige recommence à agir sur le clapet en faisant effort pour le soulever; le clapet résiste, parce qu'il est maintenu par la pression de l'eau, mais la tension du ressort va croissant, et quand le piston change de marche et contre-bute, par une pression dans le cylindre, la pression de la conduite ascensionnelle, le clapet se lève en grand par l'effet de la simple pression du ressort.

Les quatre tiges à ressort des clapets d'un corps de pompe sont commandées par un seul excentrique.

L'idéal pour une bonne soupape serait d'abord d'être très-légère et de pouvoir être soulevée sans effort pour offrir au passage du liquide une section libre égale à celle des tuyaux. Ce serait ensuite, alors que le piston, approchant de la fin de sa course, ralentit sa marche et ne produit plus qu'un faible débit, au passage duquel peut suffire une petite section, que la soupape s'alourdît, qu'elle redescendît vers son siége et que, s'en rapprochant gra-

duellement, elle vînt s'y reposer en même temps que le piston atteindrait la fin de sa course.

L'application du mécanisme adopté pour régler la marche des clapets a réalisé cette condition idéale et a donné les résultats les plus satisfaisants. On n'entend aucun choc, en faisant battre aux pompes jusqu'à neuf à dix coups de piston par minute. Le clapet se lève brusquement, il reste stationnaire pendant les 93 centièmes de la course, puis il retombe graduellement sur son siége.

Dès qu'on supprime l'action des tiges à ressort, les déplacements des clapets deviennent brusques, ils retombent avec violence sur leurs siéges en produisant des chocs qui altéreraient promptement les organes.

Les eaux d'alimentation refoulées par les pompes s'élèvent sur le coteau voisin dans une conduite forcée formée de deux files de tuyaux de $0^{m},80$ de diamètre intérieur, et elles sont versées dans une rigole à ciel ouvert qui, après 7,605 mètres de parcours, les amène au bief de partage.

Les dépenses de premier établissement de tout le système se sont élevées à la somme de 2,538,092 fr. 75 cent., ainsi répartie :

Frais généraux, surveillance	25,847f,87c
Acquisitions de terrains	368,190,06
Canal d'amenée	777,282,47
Canal de fuite, déversoir, bâtiment des machines, abords et dépendances	418,982,06
Conduite ascensionnelle et rigole	463,805,56
Machines élévatoires	483,984,73
Total	2,538,092f,75c

D'un autre côté, les dépenses annuelles d'exploitation sont :

Traitement et salaire du personnel.....		9,300f,00c
Graissage et nettoyage des machines.	5,039f,71c	6,366,77
Garniture des pistons et des presse-étoupe.....	513,00	
Chauffage et éclairage.....	814,06	
Entretien des machines, des canaux, des bâtiments.		4,333,23
Total.....		20,000f,00c

L'usine de Condé fonctionne depuis le mois d'octobre 1869, et seule elle alimente un canal de 58 kilomètres de longueur, dont la fréquentation annuelle est de près de 400,000 tonnes.

Elle a été soumise à de nombreuses expériences qui ont montré qu'elle remplit complétement et économiquement le but proposé, et qu'elle est capable de satisfaire non-seulement aux besoins du présent, mais encore à ceux de l'avenir.

Le rendement des pompes en volume, c'est-à-dire le rapport du volume d'eau monté au volume engendré par les pistons, a été trouvé variant de 0,948 à 0,971.

Le rendement mécanique en eau montée, c'est-à-dire entre le travail réel produit par le système et le travail brut fourni par la chute, s'est élevé à 0,67.

On a calculé, en comparant les dépenses réelles de l'exploitation au volume d'eau monté dans le second semestre de 1871, que par 1,000 mètres cubes d'eau envoyés au bief de partage la dépense était de 1 fr. 08 cent., et cette dépense comprend le personnel, le graissage et le nettoyage des machines, les garnitures des pistons et des

presse-étoupe, le chauffage et l'éclairage, et enfin l'entretien des machines, des bâtiments, des canaux, etc.

Les travaux ont été projetés et exécutés sous la direction de M. Dureteste, ingénieur en chef, par M. Gérardin, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées. Les turbines ont été fournies par la maison Koechlin, et c'est M. Claparède, constructeur à Saint-Denis-sur-Seine, qui a fait les pompes, les transmissions et les bâtis, avec la collaboration de son ingénieur, M. Boulogne.

LV

DIGUE ET DÉVERSOIR-SIPHON

DU RÉSERVOIR DE MITTERSHEIM.

(CANAL DES HOUILLÈRES DE LA SARRE.)

Modèle représentant la coupe de la digue et l'appareil complet du siphon, à l'échelle de $0^m,025$ (un quarantième).
La tête d'un amorceur, à l'échelle de $0^m,10$ (un dixième).

Le réservoir de Mittersheim, destiné à l'alimentation d'une partie du canal des houillères de la Sarre, est formé par un barrage de la vallée de Naubach, et constitue une retenue d'eau sur une surface de 261 hectares et une hauteur maximum de $8^m,10$ au-dessus de la vanne du fond. Sa capacité totale est de 7 millions de mètres cubes, dont 5,800,000 mètres cubes (correspondant à une tranche d'eau de $3^m,46$) peuvent être affectés à l'alimentation du canal. Les circonstances topographiques exigent que le niveau réglementaire de la retenue ne soit pas sensiblement dépassé, et l'on a dû réduire à $0^m,05$ la limite de la tolérance, ce qui exigeait un fonctionnement parfait du déversoir.

Digue. — La digue a $332^m,50$ de longueur totale; sa hauteur, du couronnement à la bonde du fond, est de $8^m,82$; sa largeur est de 6 mètres en couronne et atteint un maximum de $36^m,80$ à la base, au fond de la vallée.

Elle est formée d'un noyau en terre corroyée avec revêtement maçonné du côté de l'eau. La face amont présente

une série de murs inclinés, séparés par des risbermes à faible pointe. Chaque mur correspond à une hauteur de $2^m,50$ sur 2 mètres de largeur, et chaque risberme a $0^m,60$ de hauteur sur 3 mètres de largeur, de manière que chaque gradin rachète une hauteur totale de $3^m,10$ et une largeur horizontale de 5 mètres. Il y a un, deux ou trois gradins, suivant la hauteur variable d'un profil à l'autre, le gradin inférieur étant réduit aux dimensions voulues. Le mur inférieur repose partout sur un mur de garde de hauteur variable, mais pénétrant toujours jusqu'au terrain imperméable. Chaque mur est revêtu d'une maçonnerie de $0^m,50$ d'épaisseur au sommet et de $0^m,70$ à la base, qui repose sur un patin en béton; chaque risberme est revêtue d'un pavage maçonné reposant sur une couche de béton, ayant ensemble $0^m,30$. Le mur supérieur est surmonté d'un parapet de 1 mètre de hauteur, qui protége la chaussée contre les vagues.

La face aval de la digue présente, à partir du couronnement, un premier talus, ayant 4 mètres de hauteur sur 6 mètres de largeur, puis une banquette horizontale de 2 mètres de largeur, et enfin un second talus incliné à 2 mètres de base pour 1 de hauteur, descendant jusqu'au sol naturel. Cette face aval est énergiquement drainée par des saignées descendues à $1^m,20$ au-dessous de la surface et remplies de pierres cassées débouchant dans un contre-fossé qui suit le pied de la digue.

Déversoir-siphon. — L'appareil de réglementation consiste en deux gros siphons en fonte, de $0^m,70$ de diamètre intérieur et $0^m,022$ d'épaisseur, communiquant, par leur branche ascendante, avec le réservoir à $3^m,50$ au-dessous

de la retenue, et par leur branche descendante, avec un canal de fuite dans lequel leur orifice est maintenu constamment noyé à l'aide d'un petit barrage. A chaque siphon est accolé un petit tube de $0^m,15$ de diamètre, qui en suit toutes les inflexions, dont l'orifice inférieur débouche dans le même canal où il se trouve également noyé, et dont l'orifice supérieur s'ouvre dans l'étang, exactement au niveau de la retenue : le siphon et le tube accolé qui lui sert d'amorceur sont en communication permanente au moyen d'un tuyau recourbé, qui réunit leurs points les plus élevés. La tête de l'amorceur est en fonte, très-largement évasée dans tous les sens et s'épanouit horizontalement suivant un arc de cercle de $0^m,80$ de rayon. Les deux parois, ou *lèvres*, de cette tête sont profilées de manière à ce que la lèvre inférieure présente à l'eau une ligne horizontale de déversement placée exactement au niveau normal de la retenue; la lèvre supérieure se termine par une surface arrondie, tangente, dans tout son développement, à un plan horizontal passant à $0^m,005$ au-dessus de la lèvre inférieure : il résulte de ces dispositions que l'orifice d'entrée est noyé seulement lorsque le niveau des eaux s'élève à plus de $0^m,005$ au-dessus de la retenue réglementaire. L'amorcement se produit alors et voici comment l'appareil fonctionne.

Aussitôt que l'eau s'élève au-dessus de la retenue réglementaire, le déversement se produit sur la lèvre inférieure de l'amorceur; si cette surélévation atteint $0^m,005$, l'orifice d'entrée du lit amorceur est noyé, et, dès lors, l'air contenu dans l'amorceur, dans le siphon et dans le tube supérieur cesse d'être en communication avec l'atmosphère ;

l'eau entraîne, en se déversant, l'air des petits tubes et aspire celui du siphon; il y a diminution de pression dans l'intérieur de l'appareil, ascension de l'eau dans le siphon, puis amorçage et enfin siphonnement avec vitesse et débit croissants.

Mais la diminution de pression et l'augmentation du débit n'augmentent pas indéfiniment, par suite d'un autre phénomène. La vitesse croissante de l'eau qui entre dans l'amorceur détermine, aux abords de sa tête, une petite dépression partielle dans le plan d'eau; cette dépression s'approfondit à mesure que la vitesse augmente; elle finit par atteindre et découvrir la lèvre supérieure de l'orifice, ce qui fait rentrer une certaine quantité d'air dans l'appareil; il y a, par suite, augmentation dans la pression intérieure et diminution dans la vitesse. Les mêmes faits venant à se produire successivement, il résulte de ces deux tendances opposées une série d'oscillations correspondantes aux alternatives d'occlusion et de libération de la lèvre supérieure de l'amorceur, à la suite desquelles un régime permanent ne tarde pas à s'établir, pendant lequel il y a écoulement simultané d'eau et d'air.

Lorsque la crue des eaux cesse, le niveau du réservoir s'abaisse; les mêmes phénomènes se produisent en sens inverse, le siphonnement cesse, et l'écoulement devient nul lorsque le plan d'eau est revenu à sa cote normale.

Quelques millimètres d'élévation dans le plan d'eau au-dessus de l'amorceur suffisent pour accroître notablement la vitesse. Toute introduction d'air cesse, et l'écoulement se fait à gueule bée avant que cette élévation ait atteint $0^{m},05$, limite de la tolérance. Le débit de l'appareil

est alors de $6^{mc},60$ par seconde, chiffre supérieur au débit maximum des crues.

Pour être maître de la réglementation de l'appareil, on a disposé la tête de l'amorceur de façon à pouvoir l'élever ou l'abaisser d'une seule pièce, à l'aide de vis de rappel; l'étanchéité des communications y étant assurée par des joints à dilatation libre. En outre, une vannette verticale en fer a été placée dans la tête de l'amorceur; elle peut s'y mouvoir autour d'un axe vertical sans cesser d'épouser complétement les contours des deux lèvres, ce qui permet de faire varier l'ouverture de l'entrée et, par suite, le débit; le règlement se fait une fois pour toutes, et l'appareil fonctionne ensuite automatiquement sans qu'on s'en occupe.

L'appareil est double et composé de deux siphons, dont chacun est muni de son amorceur spécial avec tube de communication. Chaque siphon forme donc un système complet, pouvant fonctionner seul pendant que l'autre aurait besoin d'être visité, réparé ou réglé.

Tous les tuyaux des deux siphons sont logés dans un puits couvert, carré, ayant au sommet $6^{m},56$ de côté; l'épaisseur des parois, de $1^{m},20$ à la partie supérieure, va en augmentant par suite d'un fruit externe d'un dixième et de divers contre-forts internes servant d'appui aux fontes; de plus, deux arceaux en plein cintre, de 1 mètre et $1^{m},60$ de largeur, contre-butent les sommets de ces parois pour résister à la poussée de l'eau, dans le cas où l'on mettrait le puits à sec. L'arc inférieur porte les têtes des amorceurs et les siphons; l'arc supérieur, normal au premier, porte le cric de manœuvre de la vanne de fond et

les dalles de recouvrement. Deux aqueducs aboutissent au centre du puits : l'un, vers l'amont, de $1^m,80$ d'ouverture et $1^m,80$ de hauteur sous clef, établit une communication constante avec le réservoir, de sorte que la tête des amorceurs est placée dans une eau toujours calme; l'autre, vers l'aval, de $1^m,20$ sur $0^m,60$, est maintenu fermé par une vanne en fonte qu'on peut manœuvrer du sommet; il débouche dans le canal de fuite et sert à vider l'étang, au besoin. En ouvrant la vanne en fonte et fermant le premier aqueduc à l'aide de poutrelles placées dans des rainures ménagées à cet effet, on peut vider le puits, examiner et réparer toutes les parties des siphons. Les branches ascendantes de ceux-ci débouchent dans l'étang par des orifices circulaires, évasés en forme de pavillons pour éviter les rentrées d'air, qui, sans cela, auraient pu se reproduire sous forme de trombes aiguës au-devant de ces orifices. Ils sont pourvus de grilles et de clapets. L'aqueduc de fuite, dans lequel viennent déboucher les branches descendantes des siphons et des amorceurs, est fermé vers l'aval par un petit barrage en déversoir qui maintient constamment noyés les orifices de ces tuyaux.

L'idée d'employer des siphons fixes comme déversoirs pour régulariser une retenue a été proposée par M. Girard et a reçu une application au canal du Midi; mais on y a fait usage de gros siphons qui exigeaient de grandes variations dans le niveau de la retenue pour produire ou arrêter leur mise en jeu.

Les conditions spéciales où l'on était placé à Mittersheim, et la limite extrêmement étroite, $0^m,05$, de la

tolérance, ont conduit M. Hirsch, ingénieur des ponts et chaussées, à imaginer le système tout spécial d'amorceurs, qui a parfaitement rempli le but qu'on se proposait.

Les travaux ont été projetés et dirigés par MM. Bénard, ingénieur en chef, et Hirsch, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées, de 1864 à 1866. Le réservoir a été rempli au mois de décembre 1866, et les siphons ont fonctionné, pour la première fois, le 12 janvier suivant.

SEPTIÈME SECTION.

OBJETS DIVERS.

LVI

COLLECTION DE VUES PHOTOGRAPHIQUES.

Vingt-deux albums.

Une série d'albums composés de vues représentant les principaux ouvrages exécutés sur les diverses voies de communication de la France, savoir :

SECTION I.

		ALBUMS.
Routes		1

SECTION II.

Ponts		3

SECTION III.

Chemins de fer	Cie du Nord. — Cie de l'Ouest	1
	Cie Paris-Lyon-Méditerranée	1
	Cie du Midi	1
	Cie d'Orléans	3
	Gares	1

SECTION IV.

Navigation intérieure	Rivières	1
	Canaux	2

SECTION V.

Ports maritimes....	Manche.....	1
	Océan.....	1
	Méditerranée.....	1

SECTION VI.

Phares.....	1

SECTION VII.

Canaux de distribution d'eau.....	1
Travaux de distribution d'eau: alimentation de Paris....	1

SECTION VIII.

Bâtiments civils....	Édifices divers.....	1
	Opéra.....	1

Une partie de cette collection est reproduite dans un ouvrage intitulé : *les Travaux publics de la France,* qui se publie à Paris sous les auspices du Ministère des travaux publics, et dont les premières livraisons ont été admises à figurer au nombre des objets exposés par ce ministère.

LVII

ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES.

La création de l'École des ponts et chaussées remonte à plus d'un siècle.

Les *élèves* destinés à alimenter le corps des *ingénieurs des ponts et chaussées* sont recrutés exclusivement à l'École polytechnique [1].

Indépendamment des élèves ingénieurs de l'État, l'École des ponts et chaussées reçoit des *élèves externes* soit français, soit étrangers, admis, après examen, à suivre les cours et à participer à tous les travaux intérieurs de l'École [2].

Enfin, et pour faciliter aux candidats les épreuves de l'examen préalable, on a institué, dans l'école même, des *cours préparatoires* destinés aux jeunes gens qui voudraient être admis en qualité d'élèves externes [2].

L'enseignement est entièrement gratuit pour les *élèves externes* et pour les *élèves des cours préparatoires*.

[1] Voir la Notice sur l'École des ponts et chaussées, jointe aux documents exposés par cette école.

[2] Voir, au nombre des mêmes documents, les conditions pour l'admission des élèves externes et les conditions pour l'admission aux cours préparatoires.

NOMENCLATURE DES COURS ET DOCUMENTS
PRÉSENTÉS À L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE PHILADELPHIE.

I. — DOCUMENTS ADMINISTRATIFS.

(Documents réunis en 1 vol. in-8°.)

Notice sur l'École des ponts et chaussées. Paris, 1873, 1 brochure in-8°.

Décret du 13 octobre 1851, portant organisation du Corps des ponts et chaussées. Paris, 1867, 1 brochure in-8°.

Décret du 13 octobre 1851, portant organisation de l'École des ponts et chaussées. Paris, 1867, 1 brochure in-8°.

Règlement intérieur de l'École des ponts et chaussées. Paris, 1875, 1 brochure in-8°.

École des ponts et chaussées. — Admission des élèves externes aux cours de l'École. — Décrets, arrêtés, décisions. — Programme des connaissances exigées pour l'admission. Paris, 1875, 1 brochure in-8°.

Cours préparatoires pour l'admission des élèves externes à l'École des ponts et chaussées. — Décrets, arrêtés, décisions. — Programme des connaissances exigées pour l'admission. Paris, 1875, 1 brochure in-8°.

II. — ENSEIGNEMENT.

1° COURS.

Programmes de l'enseignement intérieur de l'École des ponts et chaussées, arrêtés par le Conseil de l'École et approuvés par le Ministre des travaux publics. Paris, 1875, 1 vol. in-4°.

Bresse. — Cours de mécanique appliquée professé à l'École des ponts et chaussées :

1re *partie*. — Résistance des matériaux. 2e édition. Paris, Gauthier-Villars, 1866, 1 vol. in-8°.

2e *partie*. — Hydraulique. 2e édition. Paris, Gauthier-Villars, 1868, 1 vol. in-8°.

3e *partie*. — Calcul des moments de flexion dans une poutre à plusieurs travées solidaires. Paris, Gauthier-Villars, 1865; texte, 1 vol. in-8°; atlas, 1 vol. in-folio.

Collignon (Édouard). — Cours de mécanique appliquée aux constructions :

1re *partie*. — Résistance des matériaux. Paris, Dunod, 1869, 1 vol. in-8°.

2e *partie*. — Hydraulique. Paris, Dunod, 1870, 1 vol. in-8°

Bayle. — Cours de minéralogie et de géologie appliquées aux constructions. Paris, 1869-1874, 1 vol. in-4° lithographié. (La première partie est publiée.)

Garnier (Joseph). — Traité d'économie politique, sociale ou industrielle; exposé didactique des principes et des applications de cette science. 7e édition. Paris, Guillaumin, 1873, 1 vol. in-12.

Mangon (Hervé). — Traité de génie rural. Paris, Dunod, 1875. — Le tome III comprenant les machines agricoles est publié. Texte, 1 vol. grand in-8°; atlas, 1 vol. in-fol. de 26 planches. Les autres volumes paraîtront ultérieurement.

Mangon (Hervé). — Instructions pratiques sur le drainage, réunies par ordre du Ministre des travaux publics. 3e édition. Paris, Dunod, 1863, 1 vol. in-12.

Baron. — Notes prises par les élèves au cours de construction des routes. Paris, 1874-1875, 2 vol. in-4° lithographiés.

Morandière. — Notes prises par les élèves au cours de construction des ponts :

1re *partie*. — Procédés généraux de construction. Paris, 1865-1866, 1 vol. in-4° lithographié.

2e *partie*. — Cours de ponts proprement dit. Paris, 1866-1867, 2 vol. in-4° lithographiés.

MORANDIÈRE. — Traité de la construction des ponts et viaducs en pierre, en charpente et en métal pour routes, canaux et chemins de fer. Paris, Dunod, 1875; texte grand in-4°; atlas in-folio. Les deux premières parties sont publiées.

MARY. — Notes prises par les élèves au cours de navigation intérieure. Paris, 1866, 1 vol. in-4° lithographié.

MARY. — Appendice au cours de navigation intérieure. Détails pratiques sur la distribution des eaux. Paris, 1868, 1 vol. in-4° lithographié.

JACQMIN. — Des machines à vapeur. Leçons faites en 1869-1870 à l'École des ponts et chaussées. Paris, Garnier, 1870; texte, 2 vol. in-8°; atlas, 1 vol. in-4° lithographié.

GÉRARDIN. — Cours de machines à vapeur professé à l'École des ponts et chaussées. Paris, 1876, 1 vol. in-4° lithographié.

BAZAINE. — Notes prises par les élèves au cours de chemins de fer. Paris, 1868-1873, 1 vol. in-4° lithographié.

JACQMIN. — De l'exploitation des chemins de fer. Leçons faites en 1867 à l'École des ponts et chaussées. Paris, Garnier, 1868, 2 vol. in-8°.

JACQMIN. — Les chemins de fer pendant la guerre de 1870-1871. Leçons faites à l'École des ponts et chaussées. Paris, Hachette, 1872, 1 vol. in-8°.

CHEVALLIER. — Notes prises par les élèves au cours de travaux maritimes. Paris, 1871-1873, 1 vol. in-4° lithographié.

VOISIN-BEY. — Cours de travaux maritimes professé à l'École des ponts et chaussées. Paris, 1875, 1 vol. in-4° lithographié comprenant les chapitres I et VIII.

REYNAUD (Léonce). — Traité d'architecture :

1re partie. — Art de bâtir. — Études sur les matériaux de construction et les éléments des édifices.

2e *partie*. — Composition des édifices. — Études sur l'esthétique, l'histoire et les conditions actuelles des édifices. 4e édition. Paris, Dunod, 1870-1875; texte, 2 vol. in-4°; atlas, 2 vol. in-folio.

Aucoc (Léon). — Conférences sur l'administration et le droit administratif, faites à l'École des ponts et chaussées. Paris, Dunod, 1869-1870, 2 vol. in-8°. (Le tome III est sous presse.)

Durand-Claye (Léon). — Cours de chimie appliquée aux matériaux de construction, aux eaux naturelles, aux terres et aux produits agricoles :

1re *partie*. — Analyse chimique. — Essai des matériaux de construction. Paris, 1875, 1 vol. in-4° lithographié.

2e *partie*. — Propriétés des matériaux employés dans les constructions. — Note sur les chaux et les mortiers. Paris, 1867, 1 vol. in-4° lithographié.

2° CONFÉRENCES.

Amiot. — Résumé des conférences sur la télégraphie électrique. Paris, 1874, 1 vol. in-4° lithographié.

Davanne. — Résumé des conférences sur la photographie. Paris, 1874, 1 brochure in-4° lithographiée.

Coumes. — Résumé des conférences sur la pisciculture. Paris, 1874, 1 vol. in-4° lithographié.

Tronquoy. — Instructions sur l'exécution des levers de machines et la mise au net des dessins. Paris, 1868, 1 vol. in-4° lithographié.

Voisin-Bey. — Conférences sur le canal maritime de Suez, faites à l'École des ponts et chaussées. Paris, 1872, 1 vol. in-4° lithographié.

Conte. — Conférences sur le tunnel des Alpes, faites à l'École des ponts et chaussées. Paris, 1864, 1 vol. in-4° lithographié.

Marchal. — Conférences sur le service vicinal, faites à l'École des ponts et chaussées. Paris, 1874, 1 vol. in-4° lithographié.

3° DOCUMENTS DIVERS.

MANGON (Hervé).— Laboratoire et atelier expérimental du nouveau Dépôt de l'École des ponts et chaussées. Paris, 1871, 1 brochure in-8°.

Collection de dessins distribués aux élèves de l'École des ponts et chaussées. Paris, 1857 à 1875; texte, 2 vol. in-8°; atlas, 2 vol. in-folio.

Catalogue des livres formant la bibliothèque de l'École des ponts et chaussées. Paris, Imprimerie nationale, 1872, 1 vol. in-8°.

Catalogue des modèles composant les galeries de l'École des ponts et chaussées. Paris, Imprimerie nationale, 1873, 1 vol. in-8°.

4° RAPPORTS

PUBLIÉS PAR LES INGÉNIEURS ENVOYÉS EN MISSION HORS DE FRANCE.

MALÉZIEUX. — Travaux publics aux États-Unis d'Amérique en 1870. — Rapport de mission publié par ordre de M. le Ministre des travaux publics. Paris, Dunod, 1873, texte et atlas, 2 vol. in-4°.

MALÉZIEUX. — Les chemins de fer anglais en 1873. — Rapport de mission. Paris, Dunod, 1874, 1 vol. in-4°.

DARTEIN (DE). — Étude sur l'architecture lombarde et sur les origines de l'architecture romano-byzantine. Paris, Dunod, 1865-1873; texte, 1 vol. in-4°; atlas, 1 vol. in-folio.

CHOISY. — L'art de bâtir chez les Romains. Paris, Ducher et Cie, 1873, 1 vol. petit in-folio.

CROIZETTE-DESNOYERS. — Notice sur les travaux publics en Hollande. Paris, Dunod, 1873; texte et atlas, 2 vol. in-4°.

5° COURS PRÉPARATOIRES.

COLLIGNON (Édouard). — Cours d'analyse et de mécanique professé à l'École des ponts et chaussées. — Notes prises par les élèves. Paris, 1876, 1 vol. in-4° lithographié.

Gariel. — Cours de physique professé à l'École des ponts et chaussées. — Notes prises par les élèves. Paris, 1876, 1 vol. in-4° lithographié.

Pillet. — Cours de géométrie descriptive et de stéréotomie professé à l'École des ponts et chaussées. — Notes prises par les élèves. Paris, 1876, 1 vol. in-4° lithographié.

LVIII

SOCIÉTÉ CENTRALE DE SAUVETAGE

DES NAUFRAGÉS.

Trophée d'engins de sauvetage.

Organisation. — La Société de sauvetage des naufragés a pour origine une commission instituée en 1860 au Ministère des travaux publics, afin d'étudier les mesures nécessaires à l'établissement d'un service complet de sauvetage maritime sur le littoral de la France.

Après s'être rendu compte de l'état des sociétés créées dans quelques-uns de nos ports, des dispositions adoptées en Angleterre, des points de nos côtes où les sinistres maritimes sont le plus fréquents, et des conditions imposées à l'œuvre qu'il s'agissait de fonder, la commission arrêta un programme d'organisation, mais en émettant l'avis que c'était à une société privée et non au Gouvernement qu'il appartenait de le mettre à exécution. L'Administration publique devait se borner à donner son appui et des encouragements.

Vers la même époque, un peintre de marine justement célèbre, M. Gudin, profondément ému de plusieurs sinistres dont il avait été témoin, cherchait, avec quelques-uns de ses amis, comment on pourrait développer en France un système de sauvetage analogue à celui de l'Angleterre. Il y voyait une question du plus grand intérêt,

tant pour l'humanité que pour l'honneur du pays dont les côtes étaient restées trop longtemps inhospitalières.

Ainsi se trouvaient réunis les éléments de la société privée demandée par la commission; les statuts furent aussitôt élaborés, et un décret du 17 novembre 1865 reconnut comme établissement d'utilité publique l'œuvre fondée sous le nom de *Société centrale de sauvetage des naufragés.*

La Société a choisi dès le début pour président l'amiral Rigault de Genouilly, qui n'a cessé jusqu'à sa mort de se consacrer à cette œuvre avec un infatigable dévouement. MM. les Ministres des finances, de la marine et des travaux publics sont présidents d'honneur de la Société.

Elle est administrée par un conseil composé de quarante membres. Le conseil se renouvelle chaque année par cinquième.

Un comité formé de neuf membres, pris dans le sein du conseil, est chargé des détails de l'administration et se réunit deux fois par mois. L'un des membres de ce comité, désigné par le conseil d'administration, porte le titre d'administrateur délégué. Il représente la Société, ordonnance les dépenses autorisées et assure l'exécution des mesures adoptées. Deux inspecteurs, pris dans le corps des officiers de marine, sont chargés de l'installation des nouveaux postes de sauvetage et de la surveillance du service sur le littoral.

Un comité local est institué en outre sur chacun des points où un canot de sauvetage est placé par la Société. Il dirige le service et correspond avec le comité central.

Le patron du canot reçoit une indemnité annuelle; les

hommes de l'équipage touchent une allocation toutes les fois que le canot prend la mer soit pour un exercice, soit pour un sauvetage.

Ressources financières. — Les ressources financières de la Société se composent du revenu du capital de réserve, de souscriptions annuelles, de dons volontaires et de subventions accordées par les chambres de commerce, les communes, les départements ou l'État.

Ses recettes, au 1er janvier 1876, s'élevaient à la somme de 1,889,426f,44c. Le Ministère des travaux publics est en outre venu en aide à la Société, en faisant exécuter aux frais de l'État quarante-sept maisons-abris pour canots de sauvetage, dont les dépenses de construction peuvent être évaluées à 400,000 francs environ.

Appareils de sauvetage. — Ces appareils sont de diverses natures; les principaux sont les canots de sauvetage et les porte-amarres. Nous parlerons d'abord des premiers.

Canots de sauvetage. — A la suite de nombreuses expériences faites sur divers types de canots de sauvetage par une commission d'officiers et d'ingénieurs de la marine, instituée dans le port de Cherbourg, il fut constaté que la préférence devait être accordée au modèle moyen adopté par la Société établie en Angleterre sous le nom de *Royal national life boat institution.*

Cette embarcation armée par douze hommes, y compris le patron et le brigadier, est munie de coffres à air qui la rendent insubmersible; elle porte un double fond muni de soupapes, se vide instantanément quand une lame déferle à bord, se redresse tout de suite si elle chavire, et marche fort bien à la voile et à l'aviron. L'expérience a

pleinement justifié le choix de la Société : ses bateaux inspirent aujourd'hui la plus grande confiance aux populations maritimes qui ont pu en constater la valeur.

Porte-amarres. — Il a été plus difficile de trouver un bon système de porte-amarres. Les appareils en usage dans divers pays, et notamment en Angleterre, étaient le mortier Manby et diverses espèces de fusées. Le mortier a l'inconvénient d'être lourd, et, par suite, d'un transport difficile sur plusieurs points du littoral, de produire au moment du départ du projectile une tension brusque qui détermine souvent la rupture de la ligne. Les fusées sont dispendieuses, se détériorent facilement, et exigent un personnel exercé. Ces engins ont rendu toutefois de véritables services en plusieurs circonstances, et la Société française n'a pas renoncé à les admettre après les avoir convenablement améliorés. Mais elle a voulu quelque chose de plus pratique, susceptible d'être répandu sur tous les points de nos côtes, et elle s'est adressée à cet effet à M. le capitaine Delvigne dont le nom était attaché à d'importants travaux sur les armes de guerre. Le premier problème qu'elle lui posa fut celui de savoir s'il ne serait pas possible de tirer parti des mousquetons de la douane, pour lancer des flèches entraînant une légère ligne, afin de venir en aide aux navires échoués près du rivage. C'était aller au-devant des vœux de nos douaniers, hommes d'élite, souvent témoins de naufrages, et désespérés de ne pouvoir porter secours aux malheureux qui périssaient sous leurs yeux.

Tel fut le point de départ de l'invention, aussi simple qu'ingénieuse, qui est devenue la base du système de

porte-amarres définitivement adopté et appliqué avec succès, depuis six ans, sur toute l'étendue de nos côtes.

Dans le but d'éviter le choc brusque du projectile à son départ contre la ligne qu'il doit entraîner, M. Delvigne imagina d'attacher cette ligne à des boucles en cordages glissant à frottement tout le long de la flèche, depuis l'avant jusqu'à l'arrière, où elles sont arrêtées. L'inertie du cordage est graduellement surmontée par le frottement des boucles, et la rupture est évitée.

Les essais faits sous les yeux de la commission ayant été jugés satisfaisants, plusieurs postes des douanes furent pourvus de porte-amarres pouvant entraîner une ligne à 60 mètres environ de distance, avec une charge de trois grammes de poudre.

Des expériences faites à bord du vaisseau école des canonniers, *le Louis XIV*, ainsi qu'au camp de Châlons, ayant démontré les avantages du système, le Ministre de la marine voulut bien prêter à la Société de sauvetage des pierriers en bronze du poids de 80 kilogrammes, et des espingoles du poids de 20 kilogrammes.

Les premiers lancent à 300 mètres de distance, à la charge de 140 grammes de poudre, une flèche en fer du poids de 5 kilogrammes, en lui faisant entraîner une ligne de $5^{mm},5$ de diamètre, ou bien à 150 mètres, avec 50 grammes de poudre, une flèche flottante en bois du poids de 2 kilogrammes. L'espingole lance cette dernière flèche à la même distance, la charge étant la même.

Plus tard, l'Administration de la marine compléta ce concours par le prêt de fusils de rempart. Ces fusils portent à 100 mètres une ligne de $2^{mm},5$ de diamètre, avec

une charge de 5 grammes de poudre, la flèche en bois étant du poids de 280 grammes.

Toutes les portées qui viennent d'être indiquées sont des moyennes déduites de nombreuses expériences faites par des temps calmes ou par de légères brises de travers. Elles augmentent ou diminuent dans une très-forte proportion, suivant la force et la direction du vent.

Mais ces pièces de l'artillerie de combat sont loin de présenter les dispositions les plus favorables au lancement des flèches porte-amarres. M. Delvigne proposa en conséquence, par les motifs suivants, de faire exécuter des pièces spéciales.

1° Les flèches porte-amarres ne peuvent être lancées qu'avec des vitesses très-inférieures à celles qu'on donne aux projectiles de guerre, afin de ne pas faire rompre les lignes qu'elles doivent entraîner; de là l'inutilité de pièces à âme longue;

2° A défaut de vitesse, une portée assez grande ne peut être obtenue que par le poids de la flèche, d'où résulte la nécessité d'une charge relativement forte et d'une grande résistance de l'arme;

3° Le grand allongement de la flèche permettant d'avoir beaucoup de poids avec un petit calibre, et la longueur d'âme devant être réduite, on peut augmenter l'épaisseur du métal sans dépasser le poids de la pièce de guerre.

C'est d'après ces considérations que se trouve établi le petit canon en acier sur affût servant comme terme de comparaison, avec l'espingole de même poids, sous le rapport de la portée à en obtenir.

Le fusil-canon, création nouvelle de M. Delvigne, peut

se tirer à l'épaule, à la charge de 10 grammes; à double charge, quand on trouve un appui pour le croc dont l'extrémité du canon est armée; à triple et à quadruple charge, quand le canon est placé sur son petit affût en bois.

Les épreuves auxquelles ce fusil-canon a été soumis ont établi qu'à la charge simple il envoie à 130 mètres une flèche en bois du poids de 400 grammes, entraînant une ligne de $2^{mm},5$ de diamètre.

Quand la ligne lancée par un de ces appareils a été saisie par les naufragés, ils s'en servent pour amener à bord un cartahu double qui y est attaché, et ils amarrent la poulie dans la mâture. Les sauveteurs envoient au navire, au moyen de cet appareil, une aussière que l'équipage attache au-dessus de la poulie du cartahu, puis une bouée circulaire garnie d'un sac en toile destiné à amener successivement à terre tous les naufragés. Tel est le système complet de va-et-vient de sauvetage.

D'autres appareils ne portant pas les secours à aussi grande distance, mais fort précieux en plusieurs occasions, sont employés par la Société de sauvetage. Ce sont :

Les *ceintures de sauvetage*. — Divers systèmes de ceintures ont été expérimentés par la Société de sauvetage; elle a donné la préférence à celui qui a été inventé par le contre-amiral Ward. Cet appareil se compose de larges plaques de liége cousues sur une bande en toile; il est simple, solide, ne gêne pas les mouvements de l'homme et peut être livré au prix de $6^{f},50$. Il est très-répandu sur le littoral; tous les canots de sauvetage, toutes les embar-

cations du service des phares et un grand nombre de bateaux de pêche en sont munis.

Les *lignes Torrès.* — Cet appareil imaginé par M. Torrès, du Havre, rend journellement de grands services dans nos ports, et devrait être placé à bord de tous les navires. Il consiste en une corde de 6 à 8 mètres de longueur, qui porte à l'une de ses extrémités une petite bouée en liége, et que font flotter des cabillots en bois distribués sur sa longueur. Un homme tombe-t-il d'un quai, ce qui n'est pas rare, on lui jette immédiatement la ligne, et il s'y accroche en saisissant la bouée ou l'un des cabillots. Il peut même enrouler cette ligne autour de son corps et en faire une ceinture de sauvetage.

Les *bâtons plombés.* — Ils servent à lancer une ligne à bord d'une embarcation en détresse à l'entrée d'un port.

Établissements créés. — La Société a constitué jusqu'à ce jour 50 stations de canots de sauvetage, et 325 stations de postes de secours, lesquels sont confiés aux préposés des douanes et sont munis d'appareils porte-amarres, ceintures et autres engins de sauvetage. Trente et un phares isolés en mer ont été pourvus par ses soins de fusils de rempart avec flèches en bois.

La Société publie, sous le titre d'*Annales du sauvetage maritime,* un journal qui rend compte de ses opérations ainsi que de toutes les inventions et de tous les événements relatifs à l'objet de sa mission.

Résultats obtenus. — Depuis l'époque où elle s'est constituée jusqu'au 1er janvier 1876, la Société a arraché à la mort 1,247 naufragés; elle est venue au secours de 270 bâtiments en détresse, et en a sauvé 75.

Elle a décerné, pour tous ces sauvetages, de nombreuses gratifications et les distinctions honorifiques suivantes :

10 médailles d'or,

64 médailles d'argent,

179 médailles de bronze,

295 diplômes.

Sur la proposition du comité d'administration, sept patrons de bateaux de sauvetage ont été décorés de la Légion d'honneur.

Le 5 mai 1872, la Société centrale a eu la douleur de perdre son président l'amiral Rigault de Genouilly. Le conseil d'administration lui a donné pour successeur le vice-amiral baron La Roncière-le-Noury, qui occupait les fonctions de président du comité d'administration.

Le président actuel du comité est M. Dumoustier de Frédilly, directeur du commerce au Ministère de l'agriculture et du commerce; M. Camille Doré, ancien officier de marine, est l'administrateur délégué.

M. Roubet, ancien capitaine de vaisseau, et M. Ragiot, lieutenant de vaisseau, sont les inspecteurs de la Société.

Le siége de la Société est établi à Paris, rue du Bac, n° 53.

DEUXIÈME PARTIE.

MINES.

LIX

CARTE GÉOLOGIQUE DÉTAILLÉE

DE LA FRANCE

EXÉCUTÉE SUR LA CARTE TOPOGRAPHIQUE DE L'ÉTAT-MAJOR

PAR LE SERVICE DE LA CARTE GÉOLOGIQUE.

Le service de la Carte géologique de France a été institué par décret du 1er octobre 1868, à l'effet de publier, sur les feuilles de la carte de l'État-Major au 80 000e, le relevé géologique détaillé du pays.

Les éléments de cette publication existaient, pour les deux tiers environ du territoire, sous la forme de cartes départementales exécutées à diverses époques, depuis 1835, sous les auspices des conseils généraux. Mais ces cartes, publiées à des échelles différentes et entreprises sans aucun plan commun, n'étaient pas comparables entre elles et ne pouvaient, par leur simple juxtaposition, constituer une œuvre d'ensemble. En outre, la plupart d'entre elles avaient besoin d'être mises au courant des nouveaux progrès d'une science qui a reçu dans ces dernières années les plus précieux accroissements.

Le personnel du service, placé, en 1868, sous la direction de M. Élie de Beaumont [1], appliqua ses premiers

[1] Ce personnel se composait alors de MM. Élie de Beaumont, sénateur, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, inspecteur général des mines, directeur du service; B. de Chancourtois, ingénieur en chef des mines, sous-directeur; Edmond Fuchs, A. Potier, A. de Lapparent, H. Douvillé, F. Clérault, ingénieurs ordinaires des mines; Guyerdet, attaché aux collections; Jedlinski, garde-mines principal, chargé des travaux graphiques.

efforts à l'étude de la région parisienne, et l'on fut bientôt à même de constater que, malgré les soins dont cette région avait été antérieurement l'objet, il était nécessaire de refaire à nouveau, presque partout, l'exploration détaillée du terrain.

Cette obligation, jointe à celle d'établir, pour tous les documents que comportait un travail de cette ampleur, un cadre méthodique et uniforme, répondant à tous les besoins scientifiques ou techniques que la géologie est appelée à satisfaire, empêcha d'imprimer, dès l'abord, à la publication l'activité sur laquelle on avait cru pouvoir compter au début. Lors de l'Exposition universelle de Vienne, en 1873, douze feuilles seulement, formant un rectangle dont Paris occupe à peu près le centre, purent être exposées avec leurs annexes, notices explicatives, feuilles de coupes longitudinales et de sections verticales, perspectives photographiques, etc. A cette époque, d'ailleurs, les nécessités budgétaires, le nombre restreint des membres du service, tous pourvus de fonctions spéciales en dehors de leurs attributions géologiques, enfin les défectuosités de l'installation matérielle ne permettaient pas une marche plus rapide.

En 1874, la mort de l'illustre savant qui dirigeait les travaux de la Carte géologique entraîna un remaniement du service. La direction en fut confiée à M. Jacquot, inspecteur général des mines, et, dans le courant de 1875, sur la proposition de M. Caillaux, ministre des travaux publics, l'Assemblée nationale, justement pénétrée de l'importance de l'entreprise, n'hésita pas à restituer à la Carte géologique une allocation à l'aide de laquelle il sera dé-

sormais possible, moyennant l'adjonction de nouveaux collaborateurs, de compter sur une publication de douze à seize feuilles par an. De cette manière, on peut entrevoir l'achèvement de l'œuvre dans un terme de seize à vingt années.

Le personnel actuel du service de la Carte géologique se compose de :

MM. Jacquot, inspecteur général des mines, directeur;
Moissenet, ingénieur des mines, directeur du bureau d'essai de l'École des mines;
Edmond Fuchs, A. Potier, A. de Lapparent, H. Douvillé, ingénieurs ordinaires;
Guyerdet, attaché aux collections;
Jedlinski, garde-mines principal, chargé des travaux graphiques.

Chaque feuille mentionne, avec l'indication des travaux consultés, le nom de l'ingénieur ou des ingénieurs du service à qui les explorations ont été confiées. La publication a eu lieu jusqu'ici à l'Imprimerie nationale.

DOCUMENTS EXPOSÉS.

L'Exposition comprend :

1° Un panneau central constitué par l'assemblage des douze feuilles formant l'extrême nord de la France.

Bien que le bénéfice de l'allocation votée en 1875 par l'Assemblée nationale ne puisse commencer à se faire sentir que dans le courant de l'année 1876, le service de la Carte géologique est actuellement en mesure d'exposer une nouvelle série de douze feuilles, qui toutes sont publiées ou sous presse. Ce sont les feuilles n°s 3 (Boulogne),

4 (Saint-Omer), 5 (Lille), 6 (Montreuil), 7 (Arras), 8 (Douai), 11 (Abbeville), 12 (Amiens), 13 (Cambrai), 20 (Neufchâtel), 21 (Montdidier), 22 (Laon).

Le panneau composé de l'ensemble de ces douze feuilles fait connaître la limite nord du bassin parisien, au contact du relèvement connu sous le nom d'axe de l'Artois. Il comprend également le bas Boulonnais, où affleure une si grande variété de terrains, et la plus grande partie du pays de Bray, dont le soulèvement dissymétrique se dessine avec tant de netteté au milieu des plateaux à sous-sol crayeux de la Normandie et de la Picardie. L'influence de ce soulèvement, dans la région comprise entre le Bray et l'Artois, se fait sentir avec la dernière évidence, tant par la direction rectiligne de toutes les vallées de la Picardie que par les affleurements de craie inférieure qui arrivent au jour dans ces vallées suivant l'axe des plis anticlinaux parallèles.

L'étude souterraine du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais a été l'objet de soins particuliers. Après avoir fait le relevé détaillé de tous les sondages exécutés pour recherches de houille, on a figuré sur la carte, à l'aide d'un tracé spécial, les courbes de niveau qui font connaître l'allure de la surface du terrain ancien, à son contact avec le dépôt crétacé connu sous le nom de *tourtia*. Ces courbes jouent sur la feuille d'Arras un rôle très-important.

Elles permettent de constater une relation intime entre certains accidents de la profondeur et les traits extérieurs qui caractérisent le bombement de l'Artois et les failles dont il est accompagné.

Les failles si nombreuses du bas Boulonnais ont été figurées avec toute la précision possible, ainsi que celles qui, sur la feuille de Neufchâtel, limitent au nord-est le soulèvement du pays de Bray. Enfin, sur les feuilles de Douai et de Cambrai, on s'est efforcé de n'oublier aucun des affleurements de sables éocènes et d'argile plastique, dont la plupart occupent, dans des poches de la craie, des positions singulières dues à un effondrement postérieur à leur dépôt.

Sur toutes les feuilles, on a marqué la position des exploitations de matières minérales, en distinguant chacune d'elles par un signe qui caractérise la substance exploitée.

2° Deux panneaux latéraux portant différents spécimens de feuilles et de planches :

Le panneau latéral de gauche contient, outre la feuille de titre et l'avertissement, une coupe longitudinale dirigée à travers la feuille de Beauvais, transversalement à l'axe du pays de Bray. Au-dessous figure un exemplaire de la feuille d'Arras, avec les courbes de niveau du terrain ancien.

Le panneau latéral de droite comprend un essai de feuille au 40000e, relatif aux environs de Paris, deux feuilles de sections verticales, l'une pour Paris, l'autre pour les environs de Beauvais, enfin deux photographies de carrières, reproduites par le procédé photoglyptique, et où la perspective a été mise en relation, par un diagramme géométrique, avec l'échelle géologique correspondante.

3° Au-dessous des trois panneaux est figurée une coupe

longitudinale au $\frac{1}{80000}$ et au $\frac{1}{10000}$, dirigée du nord au sud à travers la feuille de Paris.

4° Un panneau spécial, comprenant la feuille de Calais, fait connaître les résultats des études entreprises par deux des ingénieurs du service géologique, MM. Potier et de Lapparent, en vue de la construction du tunnel sous-marin entre la France et l'Angleterre. Les affleurements des couches du gault, de la craie glauconieuse et de la craie marneuse sous le détroit du Pas-de-Calais y sont représentés, tels qu'ils ont été déterminés par les opérations de sondages exécutées sous leur direction. On remarque dans les allures de ces affleurements l'existence de deux plis situés, l'un sur la côte française, l'autre sur la côte anglaise, et entre lesquels il ne paraît pas qu'on doive s'attendre à rencontrer aucun accident géologique de quelque importance. Cette étude de géologie sous-marine a été tracée d'après le plan joint au mémoire de l'Association française du chemin de fer sous-marin; elle est exposée avec son assentiment.

5° Carte au $\frac{1}{40000}$ de la *région sud-ouest du Morvan.* — Environs de *Saint-Honoré-les-Bains.*

Les environs de Saint-Honoré sont principalement composés de terrains porphyriques bordés à l'est par un massif gratitique N. E.-S. O., et disparaissant à l'ouest, suivant une direction générale N. S., sous un manteau de terrains jurassiques et tertiaires.

Parmi les roches porphyriques très-variées de cette contrée, les plus anciennes se montrent en coulées, accompagnées de tufs, de roches diamorphiques et métamorphiques; leur type le plus franc se rapporte aux por-

phyres noirs anthracifères, dont l'âge est nettement déterminé aux environs d'Autun, où ils sont recouverts par le terrain houiller supérieur; vers Champrobert et à l'est de Villapourçon, ils sont superposés à des lambeaux de calcaire carbonifère.

Au milieu de cette formation de roches porphyriques intermédiaires, on voit apparaître de puissants faisceaux de porphyre quartzifère acide, qui se prolongent à travers tout le Morvan et dont l'âge est également bien déterminé; car d'une part ils traversent le terrain houiller inférieur, d'autre part on en trouve des galets dans les poudingues du terrain houiller supérieur d'Autun; quelques-uns de ces porphyres paraissent cependant en traverser les premières assises.

Dans la carte exposée, on a distingué les formations suivantes :

	TERRAINS SÉDIMENTAIRES.	TERRAINS ÉRUPTIFS.
	Alluvions.	
	Terrain tertiaire.	
	Oolithe inférieure.	
Lias.....	.....	Filons quartzeux.
Terrain houiller supérieur.....	....	Eurites à pinite.
Terrain houiller inférieur.....	.....	Eurites talqueuses.
	.....	Porphyres quartzifères à grands cristaux.
	Grès porphyriques.	
	.....	Porphyres noirs.
	.....	Tufs porphyriques.
	Quartzites.	
Terrain carbonifère....	Calcaire carbonifère.	
Terrain dévonien.....	.....	Granulites.
Terrain silurien.....	.....	Granite à grands cristaux.

L'étage du *calcaire carbonifère* est représenté par les marbres (Champrobert) et des schistes calcarifères (est de Villapourçon); les limites de ses affleurements sont jalonnées par de grandes fractures.

Le terrain *houiller inférieur* peut être divisé en quatre étages :

1° La base est constituée par des *quartzites* métamorphiques, fréquemment pyriteux, qui commencent par des poudingues à galets quartzeux et se terminent par des brèches déjà porphyriques.

2° Ces brèches passent à des *tufs porphyriques* contenant des cristaux en débris extrêmement abondants, très-cassés et de dimensions très-différentes; le quartz ancien et le mica y sont associés à de l'amphibole souvent transformée en serpentine, et à de nombreux débris de feldspath surtout triclinique; la pâte, très-amorphe, est fluidale en masse et présente çà et là quelques traînées de calcédoine concrétionnée.

3° Les *porphyres noirs* sont des roches analogues aux précédentes, mais plus compactes, encore moins acides et souvent fluidales par microlites.

4° Enfin des *grès porphyriques* rosés constituent aux environs de Saint-Honoré le terme le plus élevé de la série et paraissent analogues à ceux qui contiennent des couches d'anthracite dans la Loire.

Les filons de *porphyre quartzifère* qui coupent les séries précédentes peuvent être distingués en trois catégories :

1° *Porphyres du terrain houiller inférieur à grands cristaux*, bruns, rouges, truités ou même entièrement noirs,

avec pinite noirâtre et chlorite ou mica magnésien, tantôt à pâte aphanitique, tantôt à magma entièrement cristallisé, même à l'œil nu.

Ces porphyres présentent au microscope toutes les combinaisons entre les micro-granulites (Luzy) et les micro-pegmatites (sommet du mont Genièvre); ils constituent souvent de belles micro-pegmatites à étoilements (les Forges, près Chides).

2° *Porphyres du terrain houiller inférieur, généralement euritiques,* à pâte rose ou verdâtre, riches en talc, et contenant une substance pinitoïde verdâtre, mais dénués de véritable pinite en prismes hexagonaux. Ces roches passent également de variétés entièrement cristallisées à des pétrosilex absolument compactes. On y distingue souvent à la loupe de petits globules qui leur donnent une apparence oolithique. Au microscope, ils présentent de belles variétés de micro-pyromérides avec globules à extinction englobés dans un magma granulitique riche en talc.

3° *Porphyres euritiques du terrain houiller supérieur,* à pâte grise ou rose, contenant de la véritable pinite et semblables à l'eurite clastique de la Selle, près Autun. Au microscope, ces roches sont finement sphérolitiques; la plupart de leurs globules s'éteignent encore sous les nicols croisés, mais quelques-uns présentent des indices de croix noire.

Les porphyres du terrain houiller inférieur remplissent de puissants faisceaux de fractures, orientés N. 29° E. et N. 38° 30′ E.; ceux du terrain houiller supérieur, d'ailleurs peu abondants, paraissent dans une direction à peu près E. O.

Aux dykes de roches éruptives, succèdent dans la contrée des filons concrétionnés avec quartz, barytine, fluorine, fer oligiste, pyrites et galène; c'est le remplissage habituel des filons des *arkoses liasiques*.

Les eaux minérales de Saint-Honoré-les-Bains, déjà captées par les Romains, paraissent émerger d'un de ces filons, à sa rencontre avec la salbande d'un dyke porphyrique.

6° et 7° *Agrandissements photographiques de* ROCHES ÉRUPTIVES *taillées en plaques minces.*

Chacun des groupes de photographies exposés comprend six roches différentes reproduites avec un grossissement de 30 à 50 diamètres; les appareils construits par M. Nachet ont permis l'emploi de la lumière polarisée.

Le tableau n° 6 reproduit des granites, des granulites et des pegmatites recueillis en France et au Colorado; il rend compte de l'analogie que les deux séries granitique et granulitique ont en Europe et en Amérique, et donne des exemples des mélanges fréquents d'orthose, de microcline et d'albite, se présentant sous forme de feldspath récent et infiltrant de quartz les débris de feldspath ancien englobés.

Le tableau n° 7 comprend des types porphyriques principalement recueillis dans le Morvan. Il montre la structure fluidale des porphyres noirs anthracifères; les micro-granulites, les micro-pegmatites et les micro-pyromérides avec globules à extinction, antérieures au terrain houiller supérieur; enfin la structure fluidale et les traî-

nées pétro-siliceuses propres aux porphyres quartzifères permiens.

Les études relatives aux plans et dessins exposés sous les nos 5, 6 et 7 ont été faites par M. Michel Lévy, ingénieur des mines, collaborateur de la Carte géologique détaillée.

LX

GÉOMÉTRIE DU RÉSEAU PENTAGONAL

ET SPHÉRODÉSIE GRAPHIQUE.

Instruments (écrin).
Épures sphériques (modèles).
Épures planes (panneau et portefeuille).
Notices (plaquettes reliées).

La géométrie du réseau pentagonal pouvant donner lieu à des applications en dehors de la géologie, on a réuni à part les objets et les documents destinés à en vulgariser les notions ou concernant les moyens de dessiner sur la sphère, moyens qui, bien que combinés pour l'étude du réseau et des alignements géologiques, ont eux-mêmes une portée plus générale.

A. *Instruction pour la pratique du dessin géométrique sur la sphère et pour son application en géographie et en géologie.* (Extrait des *Annales des mines*, 1875.)

B. *Sphère stuquée* représentant le globe terrestre réduit au 100 000 000°.

Rayon = $0^m,0637$; circonférence = $0^m,4$; un degré = $0^m,0011$; un grade = $0^m,001$.

C. *Instruments sphérodésiques* adaptés à la sphère précédente : règle (grand cercle); équerre (triangle birectangle); compas (compas à verge circulaire).

D. *Épure sphérique du canevas géodésique duodécimal* figurant les méridiens et les parallèles de 10 en 10 degrés.

E. *Épure sphérique du canevas géodésique décimal* figurant les méridiens et les parallèles de 10 en 10 grades.

F. *Épure sphérique du réseau pentagonal* comprenant le tracé des 121 cercles principaux, — coloriée méthodiquement.

G. *Épure plane* intitulée : *Le* Réseau pentagonal *résumant les rapports des* cinq solides réguliers *établi en géologie comme principe de la coordination des systèmes de montagnes et des autres faits d'alignement, par M.* Élie de Beaumont, 1850.

Cette planche, exécutée en 1874, présente avec une légende détaillée, la projection orthogonale du réseau sur le plan de l'un des cercles primitifs et sa projection gnomonique, pour le quart de la sphère, sur le plan tangent horizon du centre d'un pentagone. Elle correspond à l'épure sphérique (F); ses figures sont composées des mêmes 121 cercles principaux et coloriées de la même manière.

H. *Applications de l'épure plane précédente :* exemples d'itinéraires géométriques des cercles dont les pôles sont donnés.

K. *Notice* intitulée : *Sur le réseau pentagonal de M.* Élie de Beaumont. (Extrait du *Bulletin de la société géologique*, 1875.)

L. Indépendamment de l'instruction (C) et de la notice (K), les objets et documents exposés sous le n° LX sont accompagnés d'une *Notice explicative* rédigée par leur principal auteur M. A.-E. Beguyer de Chancourtois, ingénieur en chef des mines et professeur de géologie à l'École nationale des mines, qui, dans cette notice, mentionne ses divers collaborateurs.

LXI

ÉTUDE DES ALIGNEMENTS GÉOLOGIQUES

ET APPLICATION DU RÉSEAU PENTAGONAL.

Carte d'étude au 80 000e (panneau).
Globe avec monture spéciale (modèle).
Planisphère gnomonique (panneau et portefeuille).
Tableaux numériques, mémoires, notices (plaquettes reliées).

L'étude des alignements géologiques, auxquels donnent lieu les surfaces stratigraphiques de l'écorce terrestre voisines de la verticalité, se poursuit depuis les faits de dernier détail qui intéressent immédiatement l'exploitation des gîtes minéraux jusqu'aux faits d'ensemble concernant la distribution de ces gîtes et des phénomènes éruptifs. A tous les degrés, ces faits se montrent en relation avec les faits orographiques et hydrographiques.

A titre de point de départ, on présente d'abord le résultat d'une étude locale touchant à la pratique. On présente ensuite : un appareil disposé pour faciliter l'étude théorique la plus générale sur la surface entière du globe et l'application du réseau pentagonal de M. Élie de Beaumont, un planisphère gnomonique établi pour le même objet, enfin les premiers résultats de l'emploi de ces moyens d'investigation et de démonstration.

ÉTUDE LOCALE.

A. *Distribution des gîtes minéraux subordonnés aux dépôts sédimentaires, par faisceaux d'alignements parallèles aux autres alignements géologiques et aux directions des systèmes de mon-*

tagnes dans la région de la Haute-Marne, figurée sur la carte géologique de ce département au 80 000e, avec une rose des directions observées.

B. *Études stratigraphiques* jointes à la carte précédente. Mémoires dans lesquels M. Élie de Beaumont a discuté des remarques sur les rapports qui existent entre les directions constatées et celles des cercles de comparaison de ses systèmes de montagnes, et M. B. de Chancourtois, après avoir décrit les faits d'alignements qu'il a observés et qui font le sujet des remarques précédentes, étend ce genre d'étude au tiers nord-est de la France, à l'aide de la carte géologique au 500 000e.

ÉTUDE D'ENSEMBLE.

C. *Tableaux des données numériques qui fixent les cercles et les points du réseau pentagonal*, publiés par M. Élie de Beaumont dans les Comptes rendus de l'Académie des sciences, 1863 et 1866.

D. *Application du réseau pentagonal à la coordination des sources de pétrole et des dépôts bitumineux, étendue à la coordination des points ou des lignes d'éruption et d'émanation et des gîtes minéraux en général.* Mémoire de M. B. de Chancourtois. (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences, 1863.)

Une des conclusions de ce mémoire est que les alignements se groupent sur le globe en *systèmes de grands cercles conjugués*, déterminés chacun par un *grand cercle normal commun.*

E. *Globe au 50 000 000e*, sur lequel on a tracé, d'abord, avec les instruments sphérodésiques (voir LX) et au

moyen des données numériques des tableaux (C), *les 31 premiers cercles principaux du réseau pentagonal*, ensuite, avec les mêmes instruments et avec l'armillaire mentionné ci-après (F), quelques-uns des alignements décrits dans le mémoire (D).

On a tracé entre autres le *système de grands cercles qui a pour normal le primitif du Rhin*. Des termes particulièrement remarquables de ce système sont : le cercle de comparaison des Pyrénées qui passe par l'Etna, où sa direction se retrouve dans les principaux accidents du Val del Bove, et les faisceaux de lignes de fracture, que l'on peut suivre des gîtes de pétrole de Bakou, extrémité du Caucase, aux gîtes de la région de l'Ohio, et des bouches du Volga aux bouches du Mississipi.

F. *Armillaire à coupoles* disposé pour l'étude des faits d'alignements sur les globes géographiques, et particulièrement pour la constatation ou la recherche des systèmes d'alignement conjugués par un *normal*.

Il permet de faire tourner le globe autour de l'axe des pôles d'un normal donné, et d'amener cet axe dans le plan du limbe horizontal, à l'arasement duquel la rotation du globe présente alors successivement tous les alignements du système mis en expérience.

G. *Octo-planisphère gnomonique. Carte du globe dressée en projection gnomonique sur les huit faces d'un octaèdre régulier circonscrit* dont les huit triangles juxtaposés offrent le développement, avec l'indication des points principaux du réseau pentagonal qui jalonnent le tracé rectiligne de ce réseau, établie pour l'*Étude des alignements géographiques* en général par *M. B. de Chancourtois*.

Le globe auquel correspond cette carte est la réduction du globe terrestre au 100 000 000e. L'un des axes de l'octaèdre a été mis en coïncidence avec l'axe des pôles, et deux des arêtes correspondent au méridien de l'Ile-de-Fer.

En vertu du principe gnomonique de la projection, les grands cercles d'alignements sont représentés par des droites, mais ces droites forment nécessairement dans le développement un polygone. Une planche annexe donne les moyens de construire le polygone déterminé par un premier côté ou par deux points appartenant à deux faces différentes.

H. *Notice sur la carte du globe en projection gnomonique*, indiquant ses avantages pour les travaux, non-seulement de géologie, mais d'hydrologie et de météorologie. (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences, 1873.)

K. *Études de systèmes d'alignements sur l'octoplanisphère gnomonique* offrant, avec ou sans le tracé du réseau pentagonal, les principaux systèmes d'alignements décrits dans le mémoire de M. de Chancourtois mentionné ci-dessus (D).

L. Une notice explicative, plus détaillée que la présente, accompagne les objets exposés et achève d'en montrer la corrélation. Elle marque la part contributive de M. A.-E. Beguyer de Chancourtois, ingénieur en chef des mines et professeur de géologie à l'École nationale des mines, dans l'exécution des objets et documents réunis sous le n° LXI par ses soins, et mentionne ses collaborateurs.

LXII

CARTE

DES GISEMENTS DE PHOSPHATE DE CHAUX

RECONNUS OU EXPLOITÉS EN FRANCE.

Une carte.

L'industrie de l'extraction du phosphate de chaux minéral s'est développée, en France, à partir de 1855. Les recherches entreprises par M. de Molon, d'après les indications géologiques fournies par M. Élie de Beaumont, montrèrent que le phosphate de chaux, à l'état de nodules concrétionnés, existait sur toute la ligne d'affleurement du grès vert, dans le nord et le nord-est de la France, le Pas-de-Calais, les Ardennes, la Meuse, etc.; ce minéral fut également constaté, dans des conditions de gisement analogues, à la Perte-du-Rhône (Ain) et dans la Drôme. Plus récemment, M. Poumarède découvrit les gîtes de phosphorite du Quercy (Lot et Tarn-et-Garonne), tandis que divers niveaux de nodules étaient signalés dans l'étage de la craie. Enfin, M. de Molon a reconnu la présence de la phosphorite dans le Calvados, à la base de l'oolithe inférieure; mais ce gisement n'a pas encore été l'objet de tentative d'exploitation.

En raison de l'importance agricole du phosphate de chaux minéral, il a paru utile de figurer, sur une carte spéciale, les gisements de cette matière aujourd'hui reconnus ou exploités sur le sol français.

On a distingué par des teintes différentes :

1° *Les gisements tertiaires*, c'est-à-dire ceux de Tarn-et-Garonne, du Lot (ou Quercy) et de l'Aveyron, où la phosphorite concrétionnée remplit, dans le calcaire jurassique, des poches ou des fentes. L'arrivée de la matière minérale paraît avoir coïncidé avec l'apparition du minerai de fer en grains et le dépôt du gypse parisien.

La phosphorite de cette région, dite *du Quercy*, contient jusqu'à 70 p. o/o de phosphate de chaux. On l'expédie en grande partie en Angleterre, où elle est transformée en superphosphate par l'acide sulfurique. Cette opération s'exécute aussi en France, à l'usine de Chauny, par les soins de la société de Saint-Gobain.

L'exploitation a lieu dans le Lot, le Tarn-et-Garonne et l'Aveyron, dans plus de trente-cinq communes. Malheureusement, le peu d'épaisseur des gîtes reconnus donne lieu de craindre leur épuisement dans un avenir qui n'est pas très-éloigné.

2° *Les gisements de la craie supérieure*, c'est-à-dire ceux qui ont été signalés par M. Meugy dans le *tun* de la Flandre, à la base de la craie blanche et à diverses hauteurs dans la craie des Ardennes; ceux que M. Guillier a signalés dans la craie de la Sarthe; enfin ceux qu'on observe, dans les Ardennes, à la base des marnes crayeuses, où le phosphate est souvent à l'état de coprolithes.

3° *Les gisements du grès vert*, de tous les plus abondants et les plus réguliers; ce sont des couches de nodules concrétionnés et de fossiles transformés en phosphate de chaux et de fer; on les rencontre dans la craie *glauconieuse*, dans la *gaize* et dans le *grès vert*. Jusqu'à ces der-

niers temps, les gisements du grès vert n'étaient exploités que sur la bordure orientale du bassin parisien; on les a récemment reconnus sur la lisière méridionale, et on les exploite à Vailly, près de Sancerre, dans le département du Cher.

On a distingué, sur la carte, par une teinte foncée, les gisements exploitables, et, par une teinte claire, ceux où les nodules sont disséminés en petites quantités.

L'exploitation de cette catégorie de nodules a atteint, en 1873, 41,000 tonnes dans le département de la Meuse; elle est d'environ 23,000 tonnes dans les Ardennes. On calcule que le département de la Meuse pourra fournir 80 millions de tonnes de nodules, dont les deux tiers peuvent être extraits à ciel ouvert ou par petits puits, l'autre tiers devant être exploité par travaux souterrains réguliers.

La teneur moyenne des nodules varie entre 40 et 50 p. o/o de phosphate de chaux. Le prix de vente est de 29 à 31 francs la tonne.

Dans le Pas-de-Calais, la teneur des nodules est comprise entre 37 et 50 p. o/o; le prix de la tonne pulvérisée est de 40 à 50 francs.

Les nodules de la Perte-du-Rhône contiennent 50 p. o/o de phosphate; ceux de Clansayes, dans la Drôme, en renferment 35 p. o/o.

Les nodules phosphatés accompagnent partout l'affleurement du grès vert; mais dans la Normandie, ainsi que dans l'Orne, la Nièvre, l'Yonne, l'Aube et la Marne, ils ne forment pas de couches susceptibles d'une exploitation régulière.

4° *On a affecté une teinte spéciale aux gîtes de phosphorite* qui ne rentrent dans aucune des catégories précédentes, comme ceux qui sont disséminés dans le terrain jurassique ou dans les roches anciennes (apatite de Chanteloube). L'étude microscopique a montré, dans ces derniers temps, qu'un grand nombre de roches éruptives ou appartenant aux terrains primitifs contiennent de l'apatite en mélange intime; mais cette substance ne s'y est pas encore présentée en gisements exploitables.

La carte a été dressée à l'aide de documents fournis par le musée de statistique minérale de l'École des mines, complétés par les indications de M. l'ingénieur en chef D'AMBLY et de MM. les ingénieurs LACHAT, CHOSSON et NIVOIT.

Le travail a été exécuté sous la direction de M. DAUBRÉE, inspecteur général, membre de l'Institut, directeur de l'École nationale des mines, par M. DE LAPPARENT, ingénieur ordinaire, conservateur-adjoint des collections de statistique départementale, avec le concours de M. LEJARD, dessinateur.

LXIII

CARTE HYDROLOGIQUE

DE SEINE-ET-MARNE.

Une carte à l'échelle de $\frac{1}{100000}$ (un cent-millième).

La carte hydrologique du département de Seine-et-Marne fait connaître les nappes d'eau souterraines de la région de la Brie.

Ces nappes sont figurées par des couleurs conventionnelles; en outre, leur forme a été déterminée d'après l'étude géologique du sous-sol et d'après des nivellements faits dans un réseau de puits : leur surface supérieure est représentée par les cotes au-dessus du niveau de la mer, qui ont été obtenues pour chaque puits, et par des courbes horizontales qui sont distantes de 20 mètres; en sorte qu'il est facile de se rendre bien compte de leur mode d'écoulement.

Dans la région de la Brie, les principales nappes souterraines qu'on peut distinguer correspondent aux couches argileuses les plus importantes, c'est-à-dire aux glaises vertes, aux argiles plastiques et, sur quelques collines, aux argiles à meulières de la Beauce.

Il existe, de plus, des nappes souterraines dites *d'infiltration;* elles correspondent aux divers cours d'eau qui traversent la Brie, et surtout aux rivières comme la Seine et la Marne.

La nappe supportée par les glaises vertes est de beaucoup la plus importante; c'est elle qui alimente habituellement les puits du plateau de la Brie; tandis que, dans les vallées, les puits sont alimentés par les nappes d'infiltration.

La carte hydrologique de Seine-et-Marne donne aussi le relief du sol au moyen de courbes horizontales; elle permet de déterminer la profondeur à laquelle on peut atteindre les nappes souterraines, et elle fait immédiatement saisir les rapports qui existent entre les nappes et la constitution géologique du sol.

En particulier, elle montre bien comment les nappes d'eau se comportent dans un terrain perméable, comme la craie, ce qui offre quelque intérêt au moment où l'on songe à creuser un tunnel entre la France et l'Angleterre.

Cette carte a été dressée par M. Delesse, ingénieur en chef, professeur à l'École des mines.

LXIV

CARTE AGRICOLE DE LA FRANCE.

Une carte à l'échelle de $\frac{1}{4000000}$ (un quatre-millionième).

Sur cette carte, les différentes cultures ont été figurées par des couleurs conventionnelles dont les nuances sont d'autant plus foncées que le revenu est plus considérable.

Si l'on considère les terres arables qui occupent la plus grande partie de la France, elles fournissent des produits qui varient chaque année; mais il est possible d'évaluer en argent leurs revenus annuels moyens pour un hectare. Étudiant ces chiffres pour les cantons, en tenant compte de la forme de ces derniers, ainsi que de l'altitude et de la composition minéralogique du sol, on a pu tracer les courbes correspondant aux revenus annuels de 20, 40, 60, 80, 100 et 120 francs.

Pour les bois, pour les prés, pour les vignes, dont les cultures sont permanentes, on a tracé de même les courbes d'égal revenu, d'après le revenu moyen de l'hectare.

Attribuant alors aux terres arables, aux bois, aux prés, aux vignes, leurs couleurs conventionnelles, on a gradué leurs nuances d'après leurs revenus, et on les a limitées par les diverses courbes qui leur correspondent.

La carte présentée est une réduction du travail à l'é-

chelle très-petite du 4 000 000e; elle permet cependant d'apprécier facilement comment sont réparties les richesses agricoles de la France.

Cette carte est due à M. Delesse, ingénieur en chef, professeur à l'École des mines.

LXV

PROFIL GÉOLOGIQUE DE PARIS À BREST.

Échelle de $\frac{1}{40000}$ (un quarante-millième) pour les longueurs.
Échelle de $\frac{1}{2000}$ (un deux-millième) pour les hauteurs.

Le profil suit le tracé du chemin de fer qui, partant de Paris, passe par Bonneval, Châteaudun, Vendôme, Tours, Angers, Nantes, Vannes, Quimper, pour aboutir à Brest. Plusieurs régions classiques sont traversées par cet itinéraire, le bassin parisien, la Beauce, la Touraine, le val de la Loire, une partie de la Bretagne.

On peut voir sur le profil la succession des différents étages géologiques qui ont été repérés tout le long du chemin de fer; leur position est précisée par leurs cotes au-dessus du niveau de la mer, en sorte que, malgré l'exagération de l'échelle des hauteurs, il est facile de se rendre compte de leur disposition relative.

Dans la région de la Beauce, les nappes d'eau souterraines ont été étudiées spécialement.

Enfin, le profil donne aussi des renseignements sur les matériaux de construction fournis par chaque étage géologique; il en donne également sur le sol végétal et sur la nature des cultures.

Les études géologiques de ce genre seraient éminemment utiles, si elles précédaient l'exécution d'un chemin de fer, car elles permettraient d'apprécier les difficultés qu'on rencontrera dans sa construction, ainsi que les res-

sources sur lesquelles on pourra compter dans chaque région traversée; mais, lors même qu'elles sont faites après l'exécution du chemin, elles fournissent encore des données très-utiles à la science et à l'industrie.

D'après les ordres de M. de Franqueville, directeur général des ponts et chaussées et des chemins de fer, ces études géologiques ont été entreprises par M. l'inspecteur général Mille, dans une grande partie de la France.

Le profil géologique de Paris à Brest a été exécuté sous la direction de M. Mille, ingénieur en chef des ponts et chaussées, par MM. Triger, ingénieur civil, Delesse, ingénieur en chef des mines, Thoré, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées, et Guillier, conducteur des ponts et chaussées.

LXVI

CARTE LITHOLOGIQUE

DES MERS DE L'EUROPE.

Une carte.

Cette carte fait connaître, d'après les travaux hydrographiques, la nature des roches qu'on trouve au fond des mers de l'Europe.

Les bassins de ces mers ont d'abord été figurés par des courbes horizontales qui ont été tracées d'après les profondeurs fournies par un grand nombre de sondages.

Les roches qu'on a distinguées sont les roches pierreuses diverses, l'argile, la vase, la vase sableuse et le sable vaseux, le sable, le gravier, les galets. Elles sont représentées par des couleurs conventionnelles, comme on le fait en géologie; mais une même couleur indique seulement un même caractère lithologique.

Les dépôts très-riches en coquilles ont aussi été délimités et sont indiqués par des hachures.

Parmi les roches qui forment le fond des mers, les unes sont antérieures à l'époque actuelle et constamment corrodées; en sorte qu'elles ne sont pas recouvertes par des dépôts. Elles peuvent être pierreuses, comme le granite, le grès, le calcaire; mais souvent aussi elles sont tendres et délayables, comme l'argile, ou bien complétement meubles, comme le sable et les galets.

Ces roches antérieures à l'époque actuelle s'observent

surtout dans les parties qui sont en saillie, ainsi que dans les détroits, et en général dans les endroits fortement balayés par les courants.

Les roches appartenant aux dépôts de l'époque actuelle sont essentiellement meubles: elles remplissent les parties qui présentent des creux ou des dépressions; elles peuvent aussi recouvrir les plateaux; elles s'accumulent surtout dans les fonds où la vitesse des eaux se ralentit.

L'étude géologique des côtes, comparée avec les résultats des sondages, fait quelquefois reconnaître sous la mer le prolongement des roches qui sont émergées; elle permet alors d'esquisser quelques traits d'une *carte géologique sous-marine*.

Cette carte est l'œuvre de M. Delesse, ingénieur en chef, professeur à l'École des mines.

LXVII

VENTILATION DE LA COUR VITRÉE

DES LABORATOIRES DE L'ÉCOLE DES MINES.

Trois dessins encadrés.
1° Plan. — 2° Coupe sur la largeur. — 3° Coupe sur la longueur.

Ces dessins font voir l'ensemble des cages vitrées et des bains de sable dont les foyers chauffent la grande cheminée en métal et en déterminent le tirage. Cette cheminée reçoit les gaz nuisibles des cages vitrées ainsi que les vapeurs des bains de sable.

La grande cheminée en cuivre est supportée par un pilier en pierre, auquel sont adossées les pierres à laver en granit.

Cette cheminée est entourée, à la partie supérieure de la couverture vitrée, d'un orifice annulaire déversant à l'extérieur l'air plus ou moins infect de la cour.

Quatre prises d'air venant des caves sont établies au niveau du sol et sur chaque côté de cette cour.

Ce projet est dû à M. Wallez, architecte de l'École des mines.

Nota. Ces trois dessins sont accompagnés d'un cadre contenant quatre planches gravées, lesquelles représentent :

Le plan d'ensemble des bâtiments de l'École des mines;

Le plan du rez-de-chaussée du bâtiment des laboratoires;

Le plan d'un laboratoire d'élèves et les plans et coupes d'un bain de sable d'un laboratoire d'élèves.

ÉCOLE NATIONALE DES MINES.

INSTITUTION ET BUT DE L'ÉCOLE.

L'École des mines, créée en 1778, puis rétablie à Paris en 1816, est placée dans les attributions du Ministre des travaux publics. Elle est spécialement destinée à former les ingénieurs que réclame le service confié par l'État au corps des mines. Toutefois, indépendamment des élèves *ingénieurs*, l'École reçoit aussi des élèves *externes*, des élèves *étrangers* et des élèves *libres*.

Les élèves *ingénieurs* sont pris exclusivement parmi les élèves sortant de l'École polytechnique et entrent seuls au service de l'État. Ils sont nommés par décret.

Les élèves *externes* sont spécialement préparés pour les positions si variées qu'offre l'industrie, et surtout appelés à devenir ingénieurs ou directeurs d'exploitations de mines et d'usines métallurgiques.

Leur admission a lieu par voie de concours, conformément au double programme [1].

Les élèves *étrangers* sont admis par décision du Ministre, sur la demande des ambassadeurs ou chargés d'affaires des puissances étrangères.

Les élèves *libres* sont, sur leur demande personnelle, simplement autorisés par le Ministre à suivre les cours et exercices pratiques de l'École des mines.

[1] Voir les documents présentés à l'Exposition universelle de Philadelphie.

L'enseignement est commun aux diverses catégories d'élèves; toutefois les élèves étrangers et libres ne peuvent participer aux exercices pratiques que dans la mesure du nombre des places disponibles au laboratoire et dans les salles de dessin.

A la fin de chaque année scolaire, les élèves ingénieurs et externes subissent des examens sur les cours suivis. Ces examens sont facultatifs pour les élèves étrangers. Les élèves libres ne sont pas admis à ces épreuves.

A la sortie de l'École, les élèves ingénieurs sont nommés ingénieurs ordinaires de 3e classe; les élèves externes qui justifient des connaissances nécessaires reçoivent un brevet et sont autorisés à porter le titre d'*élèves brevetés de l'École nationale des mines de Paris*.

Aux élèves étrangers on délivre simplement des certificats d'étude.

COURS PRÉPARATOIRES.

Pour faciliter l'admission aux places d'élèves externes, des cours *préparatoires* ont été institués à l'École des mines, par décision ministérielle du 26 décembre 1844. Ces cours sont suivis par deux catégories d'élèves :

Les élèves *titulaires des cours préparatoires* admis après concours par le Ministre, et les élèves libres, Français ou étrangers, simplement autorisés par le Ministre, sur demande personnelle.

Les premiers sont seuls astreints à subir, à la fin de l'année scolaire, un examen sur les diverses parties de l'enseignement.

Les candidats aux places d'élèves titulaires des cours

préparatoires doivent remplir les conditions fixées par le programme ci-joint. (Cours préparatoires.)

L'enseignement préparatoire se compose de quatre cours oraux et d'exercices pratiques.

Les cours comprennent :

1° Des notions d'analyse infinitésimale et la mécanique;

2° La géométrie descriptive, pure et appliquée;

3° Les parties de la physique qui traitent plus spécialement du gaz et des vapeurs, de la chaleur et des instruments d'optique;

4° La chimie générale.

Deux de ces cours comportent 25 à 30 leçons et les deux autres 55 à 60 leçons professées du 7 novembre à fin mai.

Le programme des cours n'est autre que celui des connaissances exigées pour l'admission aux places d'élèves externes, sauf la géographie et la cosmographie.

Les exercices pratiques consistent en dessin géométrique et lavis.

COURS DE L'ÉCOLE DES MINES.

L'enseignement de l'École des mines a pour objet spécial l'exploitation des mines et le traitement des substances minérales.

Il embrasse trois années d'études, et comprend, outre les leçons orales, des exercices pratiques et des voyages d'instruction.

Les élèves de *1re année* suivent les sept cours d'exploitation et machines, de métallurgie, de minéralogie, de docimasie, de géologie, de paléontologie et de lever des plans;

Les élèves de 2e *année*, la deuxième partie des quatre cours d'exploitation et machines, de métallurgie, de docimasie et de géologie;

Les élèves de 3e *année*, les quatre cours de constructions industrielles et chemins de fer, de législation des mines, droit administratif et économie industrielle, d'agriculture, drainage et irrigation, et de fortification militaire.

L'enseignement oral comprend en outre l'allemand et l'anglais : les élèves sont astreints à suivre l'un ou l'autre de ces cours de langues étrangères.

Les cours oraux s'ouvrent chaque année, du 7 au 15 novembre, et se ferment au 15 avril.

Les exercices pratiques sont ainsi répartis :

Pendant la durée des cours, les élèves de 1re et de 2e année travaillent alternativement au laboratoire et au dessin, étudient les collections de l'École des mines et visitent les usines et ateliers des environs de Paris.

Après les examens du mois de mai, les élèves de 1re année sont exercés aux analyses chimiques jusqu'au 15 juillet, et au lever de plans jusqu'au 15 août. Au 15 août ils entrent en vacances, mais ils sont tenus de faire, en septembre ou en octobre, un séjour de trois semaines dans l'un des principaux districts miniers et métallurgiques de la France ou de la Belgique.

Dans la première quinzaine de juin, les élèves de 2e année font des courses géologiques sous la direction de leurs professeurs; puis visitent, en été, divers districts de mines et d'usines, d'après un programme arrêté par le conseil de l'École. A leur retour ils rendent compte de

leurs observations dans des rapports ou mémoires pourvus de dessins et de croquis cotés.

Chaque élève de 3e année doit enfin dresser, d'après des bases fixées par le conseil de l'École, un projet d'exploitation et un projet de métallurgie, et, pour clore la 3e année scolaire, les élèves ingénieurs font un deuxième voyage d'instruction, d'environ cent jours, au retour duquel ils ont également à rédiger des mémoires ou rapports sur les divers établissements désignés à leur attention.

Le deuxième voyage est facultatif pour les élèves externes.

ORDRE INTÉRIEUR.

Les élèves sont tenus de rester chaque jour à l'École pendant tout le temps consacré aux cours et aux exercices pratiques; ils ne peuvent quitter l'École avant l'heure fixée qu'avec l'autorisation de l'inspecteur des études ou du directeur.

Des appels constatent l'arrivée et la présence des élèves à l'heure prescrite.

Aucun élève ne peut s'absenter, pour un ou plusieurs jours, sans l'autorisation du directeur de l'École ou de l'inspecteur.

Il est attribué aux élèves, pour leur assiduité aux cours et aux exercices pratiques, des points qui concourent à leur classement définitif : la perte, par défaut d'assiduité, d'un nombre fixé de ces points peut entraîner l'exclusion de l'École.

EXAMENS.

Des examens ont lieu à la fin de l'année scolaire sur

chacun des cours, y compris les langues étrangères (allemand et anglais).

Ils comprennent tous, outre l'examen oral, une composition écrite.

Le passage d'une division dans une autre et le classement définitif des élèves, au moment de leur sortie, dépendent du nombre de points obtenus dans l'ensemble de toutes ces épreuves, y compris l'assiduité aux cours et les exercices pratiques.

A leur sortie de l'École, les élèves ingénieurs choisissent, dans l'ordre du classement définitif, parmi les résidences ou emplois vacants; et les élèves externes qui ont subi convenablement les épreuves requises reçoivent le *brevet* dont il a été question au commencement de la présente note.

Des prix sont distribués aux élèves ingénieurs et aux élèves externes qui se sont distingués par leurs travaux à l'École ou par leurs journaux de voyage. Il en est fait mention dans les brevets.

L'administration de l'École ne saurait *garantir* le placement des élèves externes; mais, par son entremise et ses relations, elle réussit, en général, à procurer des positions plus ou moins avantageuses à la plupart des bons élèves.

BUREAU D'ESSAI POUR LES SUBSTANCES MINÉRALES.

Un bureau d'essai pour les substances minérales est établi près du laboratoire de l'École des mines depuis 1845; il a pour mission spéciale de faire les analyses des substances minérales qui seraient demandées par les in-

dustriels, maîtres de forges et exploitants de mines. Toute personne désirant obtenir un essai doit déposer les échantillons à essayer à l'École des mines, avec une indication de la localité d'où ils proviennent et des circonstances de leur gisement. Aucune rétribution n'est due pour les essais exécutés exclusivement dans l'intérêt de l'industrie minérale. Tous les ans, un compte rendu des travaux du Bureau d'essais est inséré au *Journal officiel*.

NOMENCLATURE DES DOCUMENTS

PRÉSENTÉS À L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE PHILADELPHIE.

2 volumes in-8° et in-4°.

Programmes d'admission aux cours préparatoires et aux cours spéciaux de l'École nationale des mines.

Programmes détaillés des cours préparatoires et des cours spéciaux professés à l'École nationale des mines.

PARTIE ANNEXE.

COOPÉRATION INDUSTRIELLE

A L'INSTALLATION DES OBJETS EXPOSÉS

PAR LE MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS.

LXIX

Charpente métallique du pavillon d'exposition du Ministère des travaux publics, exécutée par *A. Moisant*, entrepreneur de constructions métalliques, à Paris, 20, boulevard Vaugirard.

LXX

Terres cuites émaillées du vestibule et de la façade du pavillon d'exposition, exécutées par *E. Muller et Cie*, à Ivry, près Paris, 6, rue Nationale.

LXXI

Carrelage mosaïque, en grès cérame, du vestibule du pavillon d'exposition, exécuté par *Simons et Cie*, au Cateau, département du Nord.

LXXII

Portes en bois du vestibule du pavillon d'exposition et boiseries d'encadrement des dessins, exécutées par *Bonhomme, oncle et neveu*, à Paris, 121, rue Notre-Dame-des-Champs.

TABLE DES MATIÈRES.

PREMIÈRE PARTIE.

PONTS ET CHAUSSÉES.

Pages.

I. Documents généraux sur les voies de communication de la France..... 3

PREMIÈRE SECTION.

ROUTES.

II. Viaduc de Dinan, sur la Rance..... 5
III. Pont d'Arcole, sur la Seine, à Paris..... 7
IV. Pont tournant de Brest, sur la Penfeld..... 9
V. Pont de Saint-Sauveur, sur le Gave de Pau..... 16

DEUXIÈME SECTION.

CHEMINS DE FER.

VI. Pont de Tarascon, sur le Rhône..... 19
VII. Viaduc métallique de Busseau-d'Ahun, sur la Creuse..... 23
VIII. Viaduc métallique de la Cère..... 30
IX. Pont de Chalonnes, sur la Loire..... 34
X. Viaduc de Port-Launay, sur l'Aulne..... 36
XI. Pont-viaduc du Point-du-Jour, à Paris-Auteuil.. 40
XII. Viaduc métallique de la Bouble..... 47
XIII. Nouvelle gare du chemin de fer d'Orléans, à Paris. 52
XIV. Rails en acier employés par les principales compagnies des chemins de fer français..... 59

Pages.

XV. Collection de types lithographiés du matériel fixe et du matériel roulant adoptés par les principales compagnies des chemins de fer français. 87

TROISIÈME SECTION.

NAVIGATION INTÉRIEURE,

RIVIÈRES ET CANAUX.

XVI. Navigation entre Paris et Auxerre..... 107
XVII. Barrages à hausses mobiles de la haute Seine... 115
XVIII. Déversoir du barrage de l'Île-Brûlée, sur l'Yonne. 124
XIX. Déversoirs à hausses mobiles des barrages de la Marne..... 129
XX. Barrage à fermettes mobiles de Martot, sur la Seine..... 139
XXI. Amélioration de la Seine maritime, de Rouen au Havre..... 142
XXII. Pont-canal sur l'Albe..... 147

QUATRIÈME SECTION.

TRAVAUX MARITIMES,

PORTS DE MER.

XXIII. Écluse de barrage, au port de Dunkerque..... 152
XXIV. Port du Havre. — Bassin de la Citadelle..... 156
XXV. Port de Brest. — Caisson du batardeau du bassin de Brest..... 163
XXVI. Port de Saint-Nazaire..... 168
XXVII. Portes de l'écluse de Saint-Nazaire..... 180
XXVIII. Bassin à flot du port de Bordeaux..... 188
XXIX. Port de Bayonne. — Construction de jetées à claire-voie..... 194
XXX. Saint-Jean-de-Luz. — Digue du Socoa et môle de l'Artha..... 204

Pages.

XXXI. Port de Marseille. — Extension des bassins. Instruments de radoub. Pont-levis ou tournant à volonté..... 214
XXXII. Canal Saint-Louis. — Amélioration des embouchures du Rhône..... 226
XXXIII. Atlas des ports de France..... 236

CINQUIÈME SECTION.

PHARES ET BALISES.

XXXIV. État de l'éclairage et du balisage des côtes de France..... 238
XXXV. Phare du cap Spartel (Maroc)..... 239
XXXVI. Phare de la Nouvelle-Calédonie..... 244
XXXVII. Phare des Roches-Douvres..... 246
XXXVIII. Phare des Héaux de Bréhat..... 251
XXXIX. Phare de la Croix..... 255
XL. Phare de Créac'h (île d'Ouessant)..... 258
XLI. Phare du Four..... 261
XLII. Phare de la Banche..... 267
XLIII. Phare des Barges..... 273
XLIV. Phare de la Palmyre..... 277
XLV. Phare de Saint-Pierre de Royan..... 284
XLVI. Phare d'Ar-Men..... 287
XLVII. Tourelle et candélabre pour feux de port..... 297
XLVIII. Appareils d'éclairage..... 300
XLIX. Lampes et ustensiles pour l'éclairage des phares à l'huile minérale..... 310
L. Bouées et balises..... 319

SIXIÈME SECTION.

ÉLÉVATION ET DISTRIBUTION DES EAUX.

LI. Aqueduc de Roquefavour, sur l'Arc..... 332
LII. Barrage et réservoir du Furens..... 337
LIII. Barrage du Ban..... 344

Pages.

LIV. Machines élévatoires de Condé pour l'alimentation du canal de l'Aisne à la Marne..... 347
LV. Digue et déversoir-siphon du réservoir de Mittersheim..... 355

SEPTIÈME SECTION.

OBJETS DIVERS.

LVI. Collection de vues photographiques..... 362
LVII. École nationale des ponts et chaussées..... 364
LVIII. Société centrale de sauvetage des naufragés.... 371

DEUXIÈME PARTIE.

MINES.

LIX. Carte géologique détaillée de la France..... 383
LX. Géométrie du réseau pentagonal et sphérodésie graphique..... 394
LXI. Étude des alignements géologiques et application du réseau pentagonal..... 396
LXII. Carte des gisements de phosphate de chaux reconnus ou exploités en France..... 400
LXIII. Carte hydrologique de Seine-et-Marne..... 404
LXIV. Carte agricole de la France..... 406
LXV. Profil géologique de Paris à Brest..... 408
LXVI. Carte lithologique des mers de l'Europe..... 410
LXVII. Ventilation de la cour vitrée des laboratoires de l'École des mines..... 412
LXVIII. École nationale des mines..... 413

PARTIE ANNEXE.

LXIX à LXXII. Coopération industrielle à l'installation des objets exposés par le Ministère des travaux publics.. 421

Eng 458.76.3
Notices sur les modeles, cartes et
Cabot Science 003479318
3 2044 091 972 760